

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

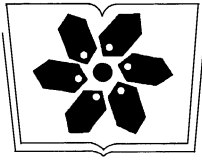
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 7 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

城市生态景观研究的基础理论框架与技术构架	孙然好, 许忠良, 陈利顶, 等 (1979)
拟南芥芥子酸酯对 UV-B 辐射的响应	李 敏, 王 垠, 牟晓飞, 等 (1987)
蛋白核小球藻对 Pb(II) 和 Cd(II) 的生物吸附及其影响因素	姜 晶, 李 亮, 李海鹏, 等 (1995)
梨枣在果实生长期对土壤水势的响应	韩立新, 汪有科, 张琳琳 (2004)
产业生态系统资源代谢分析方法	施晓清, 杨建新, 王如松, 等 (2012)
基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例	 赵卉卉, 王 远, 谷学明, 等 (2025)
河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价	白琳红, 王 卫, 张 玉 (2033)
温郁金内生真菌 <i>Chaetomium globosum</i> L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理	 王艳红, 吴晓民, 朱艳萍, 等 (2040)
基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统种间水分利用研究	 何春霞, 孟 平, 张劲松, 等 (2047)
云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布	张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2056)
水稻根系通气组织与根系泌氧及根际硝化作用的关系	李奕林 (2066)
苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响	王西存, 于 毅, 周洪旭, 等 (2075)
磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响	金凌波, 周 峰, 姚 涓, 等 (2082)
基于 MODIS-EVI 数据和 Symlet11 小波识别东北地区水稻主要物候期	 徐岩岩, 张佳华, YANG Limin (2091)
基于降水利用比较分析的四川省种植制度优化	王明田, 曲辉辉, 杨晓光, 等 (2099)
气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响	高晓容, 王春乙, 张继权 (2110)
施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响	朱小红, 马中文, 马友华, 等 (2119)
丛枝菌根真菌对积根净离子流及锌污染下积苗矿质营养的影响	肖家欣, 杨 慧, 张绍铃 (2127)
不同 R:FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响	杨再强, 张 静, 江晓东, 等 (2135)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态	刘 蕾, 申国珍, 陈芳清, 等 (2142)
黄土高原刺槐人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献	周小刚, 郭胜利, 车升国, 等 (2150)
贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局	陈志阳, 杨 宁, 姚先铭, 等 (2158)
LAS 测算森林冠层上方温度结构参数的可行性	郑 宁, 张劲松, 孟 平, 等 (2166)
基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究	 徐少君, 曾 波, 苏晓磊, 等 (2174)

模拟氮沉降增加对寒温带针叶林土壤 CO₂ 排放的初期影响 温都如娜,方华军,于贵瑞,等 (2185)

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素..... 邓培雁,雷远达,刘 威,等 (2196)

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫..... 孙麓垠,白音包力皋,牛翠娟,等 (2204)

上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究 唐克勇,杨正勇,杨怀宇,等 (2212)

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

农林复合系统中灌木篱墙对异色瓢虫种群分布的影响..... 严 飞,周在豹,王 朔,等 (2230)

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....
..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展..... 王 宁,张利权,袁 琳,等 (2248)

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

城市污泥生物好氧发酵对有机污染物的降解及其影响因素..... 余 杰,郑国砥,高 定,等 (2271)

4 种绿化树种盆栽土壤微生物对柴油污染响应及对 PAHs 的修复 闫文德,梁小翠,郑 威,等 (2279)

研究简报

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性..... 李东伟,徐红梅,梅 涛,等 (2288)

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响 梁 朋,陈振德,罗庆熙 (2294)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-04



封面图说: 站立的仓鼠——仓鼠为小型啮齿类动物,栖息于荒漠、荒漠草原等地带的洞穴之中。白天他们往往会躲在洞穴中睡觉和休息,以避开天敌的攻击,偶尔也会出来走动,站立起来警惕地四处张望。喜欢把食物藏在腮的两边,然后再走到安全的地方吐出来,由此得仓鼠之名。它们的门齿会不停的生长,所以它们的上下门齿必须不断啃食硬东西来磨牙,一方面避免门齿长得太长,妨碍咀嚼,一方面保持门牙的锐利。仓鼠以杂草种子、昆虫等为食。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201107221081

梁朋, 陈振德, 罗庆熙. 南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响. 生态学报, 2012, 32(7): 2294-2302.

Liang P, Chen Z D, And Luo Q X. Effects of *Meloidogyne incognita* on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2294-2302.

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗 活性氧清除系统的影响

梁 朋^{1,2}, 陈振德², 罗庆熙^{1,*}

(1. 西南大学园艺园林学院, 重庆 400716; 2. 青岛市农业科学研究院, 青岛 266100)

摘要: 采用盆栽人工接种方法, 对番茄嫁接苗进行了抗性评价, 研究了番茄嫁接苗叶片中抗氧化酶活性和活性氧代谢的动态变化。结果表明, 接种南方根结线虫(*J₂*)后, 砧木嫁接苗表现为高抗, 自根嫁接苗为高感。通过嫁接换根, 与自根嫁接苗相比, 砧木嫁接苗明显提高了接穗叶片的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性, 降低了超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$)产生速率以及过氧化氢(H_2O_2)和丙二醛(MDA)含量。表明番茄植株体内的活性氧水平和抗氧化酶活性的高低与其抗根结线虫的能力密切相关, 较低的活性氧水平和较高的抗氧化酶活性有利于减轻对膜系统的伤害, 提高番茄植株的抗根结线虫能力。

关键词: 南方根结线虫; 抗性评价; 砧木; 抗氧化酶活性; 活性氧代谢; 番茄

Effects of *Meloidogyne incognita* on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks

LIANG Peng^{1,2}, CHEN Zhende², LUO Qingxi^{1,*}

1 College of Horticulture and Landscape, Southwest University, Chongqing 400716, China

2 Qingdao Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266100, China

Abstract: Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) have a worldwide distribution and are important endoparasitic pathogens of many plant species. In China, they are becoming one of the most serious diseases with the increase of greenhouse vegetable production. Root-knot nematode disease could inhibit growth and development, and decrease yield and quality of vegetables. The major species of root-knot nematode include *M. incognita*, *M. hapla*, *M. arenaria* and *M. javanica*. *M. incognita* is widely spread in Shandong province and causes a serious damage to vegetable production. Although physical and chemical approaches have been used to control the disease, they are not always effective and add the cost to tomato production. In addition, the use of chemicals causes severe environmental pollution and the residue in vegetable products may be harmful to human health. Recently, grafting cultivation using resistant rootstock could effectively prevent tomato from this disease. The effect of four resistant rootstocks on root-knot nematode disease, changes of antioxidant enzyme activities and level of reactive oxygen species (ROS) were investigated in grafted tomato seedlings, using 401, Dahong FA-2160, Fenhe518 and Bulusite as rootstocks, oumeiyuan as scion. The tomato seedlings were planted in pots and inoculated with 3000 of 2nd instars of larval *M. incognita*. The results showed that tomato seedlings grafted with rootstocks were highly resistant and self-rooted grafted seedlings were sensitive to *M. incognita*. The activities of antioxidant enzymes, such as superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) in

基金项目: 青岛市科技支撑计划项目(09-1-1-80-nsh)

收稿日期: 2011-07-22; 修订日期: 2012-01-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qxluo@swu.edu.cn

leaves of scion grafted with different rootstocks were significantly increased, and the production rate of superoxide anion radical ($O_2^{\cdot-}$), the contents of malonaldehyde (MDA) and hydrogen peroxide (H_2O_2) were reduced compared with own-rooted grafted seedling, which suggested that the infection aggravated the extent of membrane lipid peroxidation in leaves, especially in the leaves of susceptible variety. Rootstock grafting significantly enhanced resistance of tomato seedlings to *M. incognita*, while the seedlings of own-rooted grafted were easily infected and formed more large nodules. Rootstock grafting increased the activities of antioxidant enzymes, decreased the level of ROS in the leaves of scion. The level of ROS and the activities of antioxidant enzymes are closely related to their ability of resistance to root-knot nematode. Low level of ROS and high activities of antioxidant enzymes were helpful for reducing the damage of root-knot nematode to membrane system and increasing resistance to root-knot nematode. It was concluded that rootstock grafting can improve resistance to *M. incognita*, reduce the damage of root-knot nematode infection in tomato.

Key Words: *Meloidogyne incognita*; resistance evaluation; rootstock; antioxidant enzymes activities; reactive oxygen species; tomato

随着设施蔬菜的迅速发展,我国各地都曾报道根结线虫病的发生和蔓延,且有逐年加重的趋势。根结线虫侵染不仅直接影响作物的根系生长及其活力^[1-2],而且明显降低了地上部生长速率,导致生长发育迟缓,产量下降,品质变劣^[3]。有研究表明,危害山东设施蔬菜的根结线虫主要种群为南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*)^[4-5]。

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)是我国设施栽培面积较大的蔬菜品种之一,也是受南方根结线虫侵染最严重的蔬菜作物之一。目前,在生产实践中,一般采用化学药剂防治、土壤消毒、生物防治、轮作换茬、砧木嫁接、抗病品种等方法防治番茄根结线虫病,其中,采用抗病品种和抗病砧木嫁接栽培是防治根结线虫病最有效的方法。但由于我国番茄抗病砧木品种较少,生产上采用的砧木多为近年来从国外引进的,其抗根结线虫的能力尚不十分清楚。目前,在生产上抗病番茄品种多样化尚缺的情况下,采用抗病砧木嫁接栽培不失为一种最佳选择。Cao 等^[6]利用番茄抗病砧木与易感品种毛粉 802 嫁接,嫁接苗对根结线虫病的抗性显著增强。Morra 等^[7]研究表明,利用茄子抗病砧木嫁接可以有效地控制根结线虫病和黄萎病。利用抗盐砧木嫁接得到的番茄嫁接苗,其耐盐性高于自根苗^[8]。Martinez-Rodriguez 等^[9]利用抗盐砧木进行嫁接换根,降低了茄子植株的盐害指数。另有研究表明,接种南方根结线虫后,抗病茄子砧木托鲁巴姆的 SOD 和 CAT 活性高于易感品种赤茄^[10];番茄砧木嫁接苗的 SOD、POD、PAL、PPO 活性高于自根苗^[11];黄瓜嫁接苗的根系活力以及 SOD、POD、CAT、APX 等抗氧化酶活性均高于自根苗,而电解质渗漏率和 MDA 含量则低于自根苗^[12]。关于番茄及砧木品种对根结线虫的抗性鉴定国内外已有较多报道,如韩利芳等^[13]、赵洪海等^[14]、邓莲等^[15]利用根结数、根结指数和卵块个数等指标对不同番茄品种进行了抗性鉴定,刘维信等^[16]采用发病率和病情指数鉴定了不同番茄品种的抗根结线虫能力。

本试验选用 401、大红 FA-2160、粉鹤 518 和布鲁斯特作为砧木材料,其中布鲁斯特和大红 FA-2160 属于高抗南方根结线虫的番茄品种^[17];401 为抗南方根结线虫的砧木品种^[18];粉鹤 518 是购自寿光的抗性材料。在盆栽条件下,采用接种 2 龄幼虫(J_2)的方法,欧美圆为接穗,研究接种南方根结线虫后不同砧木嫁接番茄植株根系的抗病性评价以及接穗叶片抗氧化酶活性和活性氧代谢的动态变化,旨在探讨番茄砧木受到根结线虫侵染后对接穗叶片活性氧清除系统的影响,以期番茄抗根结线虫砧木嫁接栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以 401、大红 FA-2160、粉鹤 518 和布鲁斯特为砧木,当地生产中种植面积较大的番茄品种欧美圆为接穗(表 1)。

试验于 2010—2011 年在青岛市农业科学研究院日光温室中进行。2010 年 10 月 8—10 日将砧木和接穗的种子浸种催芽,10 月 11 日将催好芽的种子播种于 50 孔的穴盘中,置日光温室中培养,11 月 8 日待幼苗长至两叶一心时进行嫁接,获得砧木嫁接苗。为保持生长一致,接穗品种欧美圆也要进行一次自根嫁接,即将自身当作砧木和接穗进行嫁接,故称之为自根嫁接苗。嫁接后用黑色遮阳网与塑料薄膜覆盖,白天温度保持在 25—28 ℃,夜间 10—20 ℃。嫁接 3 d 后逐渐进行通风透光,由小到大,一周后除去所有的覆盖物,抹掉砧木上长出的侧芽。11 月 18 日将成活的幼苗移栽到 15 cm×15 cm 的营养钵中。试验设置 4 个砧木嫁接和 1 个自根嫁接处理,每处理 3 次重复,每次重复 20 株。

1.2 根结线虫的培养

供试根结线虫为南方根结线虫,在田间取被根结线虫侵染的番茄根,按泰勒等^[19]提供的方法经单卵块纯化,通过会阴花纹形态识别鉴定后,先接种到用无菌土盆栽的易感线虫品种欧美圆的根际,生长 50 d 后待番茄根系出现明显根瘤时,取出根系,采用刘维志^[20]的方法从番茄根部分离南方根结线虫的卵,在恒温箱里孵化,期间随时进行观察,3—4 d 待卵孵化成 2 龄幼虫后,计数备用。用蒸馏水调整根结线虫的浓度为 1000 条/mL。

1.3 接种及取样

1.3.1 接种

选取嫁接成活后生长一致的植株于 11 月 23 日用培养好的 2 龄幼虫进行接种,在植株的根际周围用打孔器打孔(3 孔/盆,孔的深度为 3 cm),每个孔中接种浓度为 1000 条/mL 的线虫溶液 1 mL,每株接种 3000 条。自根嫁接苗的接种处理同砧木嫁接苗。接种后的温度控制在 15—25 ℃。

1.3.2 取样调查与分析

接种后 15 d 进行第 1 次取样,每处理重复 3 次,每次重复取样 4 株,并带回实验室,将根洗净后备用。取植株顶端下第 4、5 叶片进行抗氧化酶活性和活性氧代谢的检测。此后每隔 10 d 进行 1 次取样,共取样 4 次。

番茄根结线虫病分级标准如下^[21]:

0 级,根系正常,无根结;1 级,根系有少量小根结;3 级,2/3 根系有小根结;5 级,全部根系有小根结并有次生根结;7 级,全部根系有较大根结或变粗呈畸形根,几乎无须根。

计算公式如下:

病情指数 = $\sum (\text{各级病株数} \times \text{相对应级别数}) / \text{调查总株数} \times \text{最高级级别数} \times 100$

品种抗性评价标准参考邓莲等^[22]的方法,高抗(HR),病情指数≤5;中抗(MR),5<病情指数≤10;中感(MS),10<病情指数≤20;高感(HS),病情指数>20。

1.4 抗氧化酶活性及活性氧测定

超氧阴离子(O₂⁻)产生速率测定参照王爱国和罗广华^[23]的方法,单位为 nmol·g⁻¹·min⁻¹ 鲜重。过氧化氢(H₂O₂)含量测定参照林植芳等^[24]的方法,单位为 μmol/g 鲜重。过氧化物酶(POD)的活性、超氧化物歧化酶(SOD)的活性和过氧化氢酶(CAT)活性的参照郑炳松^[25]的方法,其中 SOD 活性的测定采用氮蓝四唑法测定,NBT 光还原 50% 为单位,测定 560 nm 下 OD 值,酶的活性单位为 U/g 鲜重。POD 活性的测定采用愈创木酚法,以每分钟内 A470 变化 0.01 为 1 个酶活性单位(U),酶活性单位为 U·g⁻¹ 鲜重·min⁻¹。CAT 活性的测定采用紫外吸收法,以每分钟内 A240 变化 0.1 为 1 个酶活性单位(U),酶活性单位为 U·g⁻¹ 鲜重·min⁻¹。抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性参照 Nakano 等^[26]的方法测定,采用紫外分光光度法,测定 290 nm 下的吸光

表 1 供试番茄砧木、接穗品种的名称及来源

Table 1 The varieties and origin of tomato rootstocks and cion

材料 Materials	来源 Origin
401	日本品种,山东寿光信誉菜种部
大红 FA-2160	荷兰品种,山东寿光信誉菜种部
粉鹤 518	荷兰品种,山东寿光信誉菜种部
布鲁斯特	以色列品种,山东寿光华信种业
欧美圆	中国品种,西安北斗种苗有限公司

值,每 10 秒计数 1 次,测定 1 min 内吸光值的变化,以每分钟氧化 1 μmolASA 的酶量为 1 个酶活单位(U),酶活性单位为 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。丙二醛(MDA)含量的测定参照赵世杰等^[27]的方法,采用硫代巴比妥酸法,测定 600、532、450 nm 下 OD 值,单位为 $\mu\text{mol/g}$ 鲜重。

1.5 数据处理

应用 Microsoft Excel 2003 和 DPSV7.05 版软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 接种根结线虫后番茄嫁接苗的抗性评价

从表 2 可以看出,在接种根结线虫 15d,自根嫁接苗的病情指数已高达 71.4,发病已很严重,对南方根结线虫表现为高感。接种 35d,自根嫁接苗的病情指数达 100;而 4 种砧木嫁接苗的根病情指数一直为 0,说明 4 种砧木嫁接苗对南方根结线虫表现为高抗。

表 2 番茄嫁接苗对南方根结线虫的抗性评价

Table 2 Evaluation of grafted tomato plants resistance to southern root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*)

砧穗组合 Rootstock-scion combinations	接种 15 d 15 days after inoculation		接种 25 d 25 days after inoculation		接种 35 d 35 days after inoculation		接种 45 d 45 days after inoculation	
	病情指数 Disease index	抗性评价 Resistant evaluation	病情指数 Disease index	抗性评价 Resistant evaluation	病情指数 Disease index	抗性评价 Resistant evaluation	病情指数 Disease index	抗性评价 Resistant evaluation
欧美圆/欧美圆 Oumeiyuan/Oumeiyuan	71.4	HS	83.3	HS	100	HS	100	HS
欧美圆/401 Oumeiyuan/401	0	HR	0	HR	0	HR	0	HR
欧美圆/大红 FA-2160 Oumeiyuan/DahongFA-2160	0	HR	0	HR	0	HR	0	HR
欧美圆/粉鹤 518 Oumeiyuan/Fenhe518	0	HR	0	HR	0	HR	0	HR
欧美圆/布鲁斯特 Oumeiyuan/Bulusite	0	HR	0	HR	0	HR	0	HR

2.2 根结线虫对番茄嫁接苗接穗叶片中 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率以及 H_2O_2 和 MDA 含量的影响

$\text{O}_2^{\cdot-}$ 和 H_2O_2 是生物体代谢过程中产生的主要活性氧自由基,对细胞膜脂质具有较强的氧化作用。从图 1 可以看出,接种根结线虫后自根嫁接苗和砧木嫁接苗接穗叶片中 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的产生速率和 H_2O_2 的含量的变化趋势相似,均呈先升高后下降再升高的趋势;在线虫的整个侵染过程中,自根嫁接苗叶片中 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率和 H_2O_2 的含量始都终高于 4 种砧木嫁接苗,差异显著 ($P<0.05$)。

MDA 是膜质过氧化分解的产物,植物的逆境胁迫与体内 MDA 的积累有关。图 1 显示,接种南方根结线虫后 15—45d,4 种砧木嫁接苗接穗叶片中 MDA 含量始终低于自根嫁接苗,且所有处理的变化趋势一致,均在接种后 25d 达到峰值,此时 401、大红 FA-2160、粉鹤 518 和布鲁斯特砧木嫁接的番茄苗接穗叶片中 MDA 含量分别比自根嫁接苗降低 21.37%、36.08%、9.87% 和 37.55%。在接种后 35d,砧木嫁接苗接穗叶片中 MDA 含量与自根嫁接苗的差距最大,此时 401、大红 FA-2160、粉鹤 518 和布鲁斯特砧木嫁接苗接穗叶片中的 MDA 含量分别比自根嫁接苗降低 60.80%、61.92%、33.69% 和 63.31%。虽然在接种后 45d 时这种变化的差距缩小,但砧木嫁接苗与自根嫁接苗相比,其 MDA 含量仍差异显著 ($P<0.05$)。

在 4 种砧木嫁接苗中,布鲁斯特在整个取样过程中除 25d 的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率比 401 高 1.31% 和 15d MDA 含量比大红 FA-2160 略高外,其余时间的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率、 H_2O_2 和 MDA 含量都始终低于其余 3 种砧木嫁接苗。

由上可见,4 种砧木嫁接苗接穗叶片的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率以及 H_2O_2 和 MDA 含量均显著低于自根嫁接苗,其中布鲁斯特砧木嫁接番茄苗的这种变化趋势更加明显,且低于其他 3 种砧木嫁接苗。这说明番茄嫁接苗受到根结线虫侵染后,自根嫁接苗叶片中活性氧积累量多,氧化细胞膜中的脂质,导致膜脂过氧化产物 MDA 含量

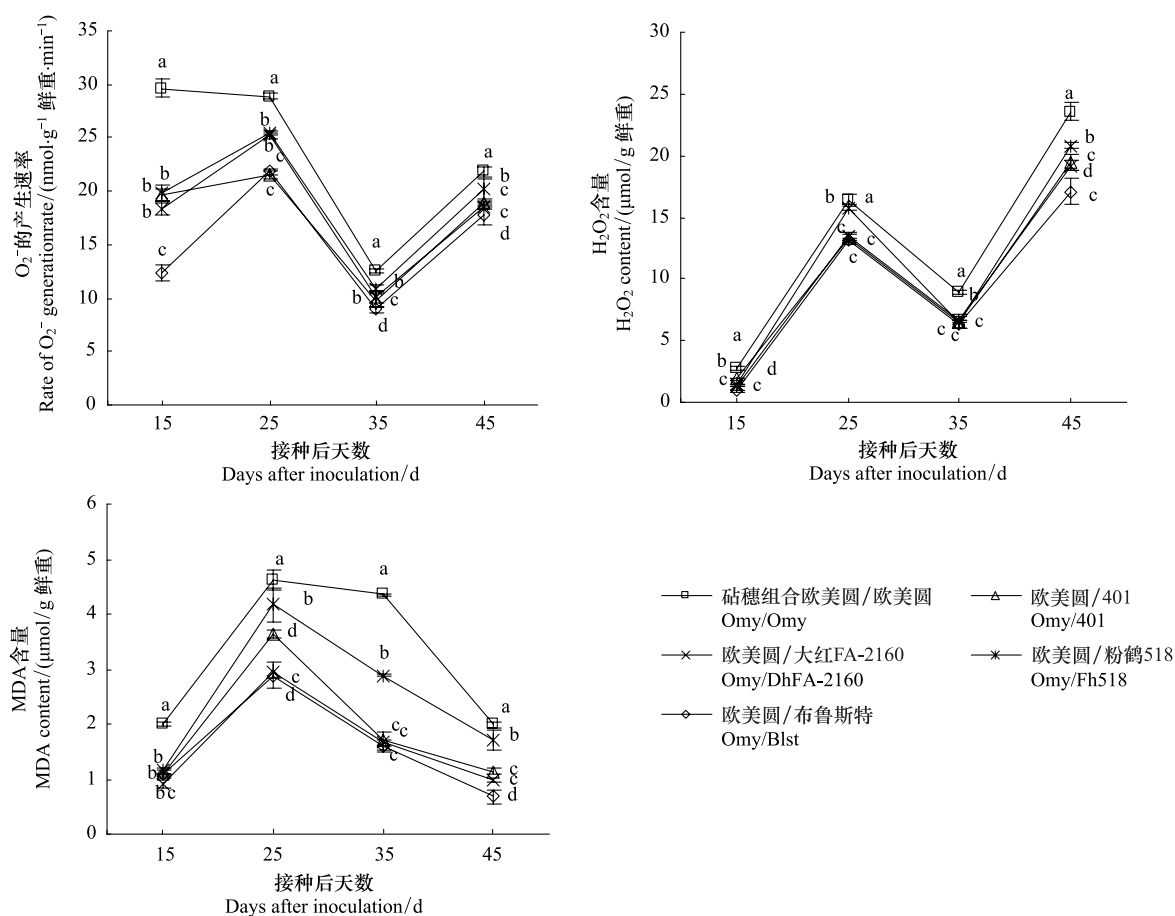


图1 南方根结线虫对番茄嫁接苗接穗叶片 O₂⁻ 产生速率及 H₂O₂ 和 MDA 含量的影响

Fig. 1 Effects of *M. incognita* on production rate of O₂⁻, and the contents of H₂O₂ and MDA in the leaves of tomato grafted.

不同小写字母表示同一时间不同处理之间 $P < 0.05$ 水平差异显著

增加,破坏了细胞膜的稳定性;4种砧木嫁接苗由于显著降低了活性氧水平和MDA含量,减缓了根结线虫对番茄植株细胞膜的伤害,其中以布鲁斯特为砧木的嫁接苗膜质过氧化程度最轻,说明其抗根结线虫的能力强于其它砧木的嫁接苗。

2.3 根结线虫对番茄嫁接苗接穗叶片中抗氧化酶系统的影响

从图2可以看出,接种根结线虫15d,401、大红FA-2160、粉鹤518和布鲁斯特4种砧木嫁接苗接穗叶片中的SOD活性都明显高于自根嫁接苗,分别提高105.55%、83.33%、61.11%和113.89%,差异显著($P < 0.05$)。接种根结线虫25d,自根嫁接苗接穗叶片中SOD活性快速增加,比15d时增加了两倍多(247.22%);此时的401、大红FA-2160、粉鹤518和布鲁斯特砧木嫁接的番茄苗接穗叶片中的SOD活性变化幅度较小,仅比15d提高2.70%、6.06%、15.52%和12.99%。接种根结线虫35d,4种砧木嫁接苗的SOD的活性均比25d时有所增加,而自根嫁接苗的SOD活性则急速下降,并明显低于4种砧木嫁接苗。接种45d取样测定,所有处理的SOD活性均呈下降趋势,但此时4种砧木嫁接苗接穗叶片中的SOD的活性仍显著高于自根嫁接苗。

图2B的结果表明,接种15—45d,4种砧木嫁接苗接穗叶片中的POD活性都始终高于自根嫁接苗。接种15—25d,4种砧木嫁接苗接穗叶片中POD活性增加的速度明显比自根嫁接苗快,401、大红FA-2160、粉鹤518和布鲁斯特砧木嫁接苗接穗叶片中的POD活性分别比自根嫁接苗提高158.83%、111.05%、136.51%和159.52%,这表明4种砧木嫁接苗对根结线虫的侵染反应敏感,在短时间内即可启动抗氧化酶防护机制,增强了番茄植株对活性氧的清除能力,减轻线虫的侵染危害。随后POD活性虽然呈下降趋势,但仍保持较高的生理活性,4种砧木嫁接苗的POD活性明显高于自根嫁接苗。

CAT 在植物体内能清除细胞内过多的 H_2O_2 , 进而保护膜结构的完整性, 减轻对细胞膜的毒害。研究表明, 植物体内的 CAT 活性与抗逆性密切相关, 一般认为 CAT 活性越大, 植物的抗逆能力越强^[28]。从图 2 可知, 接种 15d, 4 种砧木嫁接苗接穗叶片中 CAT 的活性比自根嫁接苗提高 40.47%—86.92%, 其中大红 FA-2160 砧木嫁接苗的 CAT 活性最高, 其次是布鲁斯特。接种 15d 后, 粉鹤 518 砧木嫁接苗接穗叶片中的 CAT 活性便开始迅速下降, 直到 35d 后才开始升高, 并在 45d 达到高峰。此外, 401、大红 FA-2160 和布鲁斯特砧木嫁接苗接穗叶片中的 CAT 活性始终明显高于自根嫁接苗, 且与自根嫁接苗均在接种后 25d 达到高峰(图 2), 这说明砧木嫁接苗清除体内 H_2O_2 的能力比自根嫁接苗强, 增强了砧木嫁接苗抗根结线虫的能力。

图 2 显示, 接种 15—45 d, 所有处理的 APX 活性均呈持续下降趋势, 4 种砧木嫁接苗接穗叶片中 APX 活性在整个取样期内始终高于自根嫁接苗。如接种 25d 取样测定, 401、大红 FA-2160、粉鹤 518 和布鲁斯特砧木嫁接苗接穗叶片中的 APX 活性分别比自根嫁接苗提高 60.99%、69.68%、103.13% 和 117.18%。上述结果说明, 在同样受到南方根结线虫侵染后, 4 种砧木嫁接苗接穗叶片中 APX 活性显著高于自根嫁接苗, 因而具有更强的活性氧清除能力。

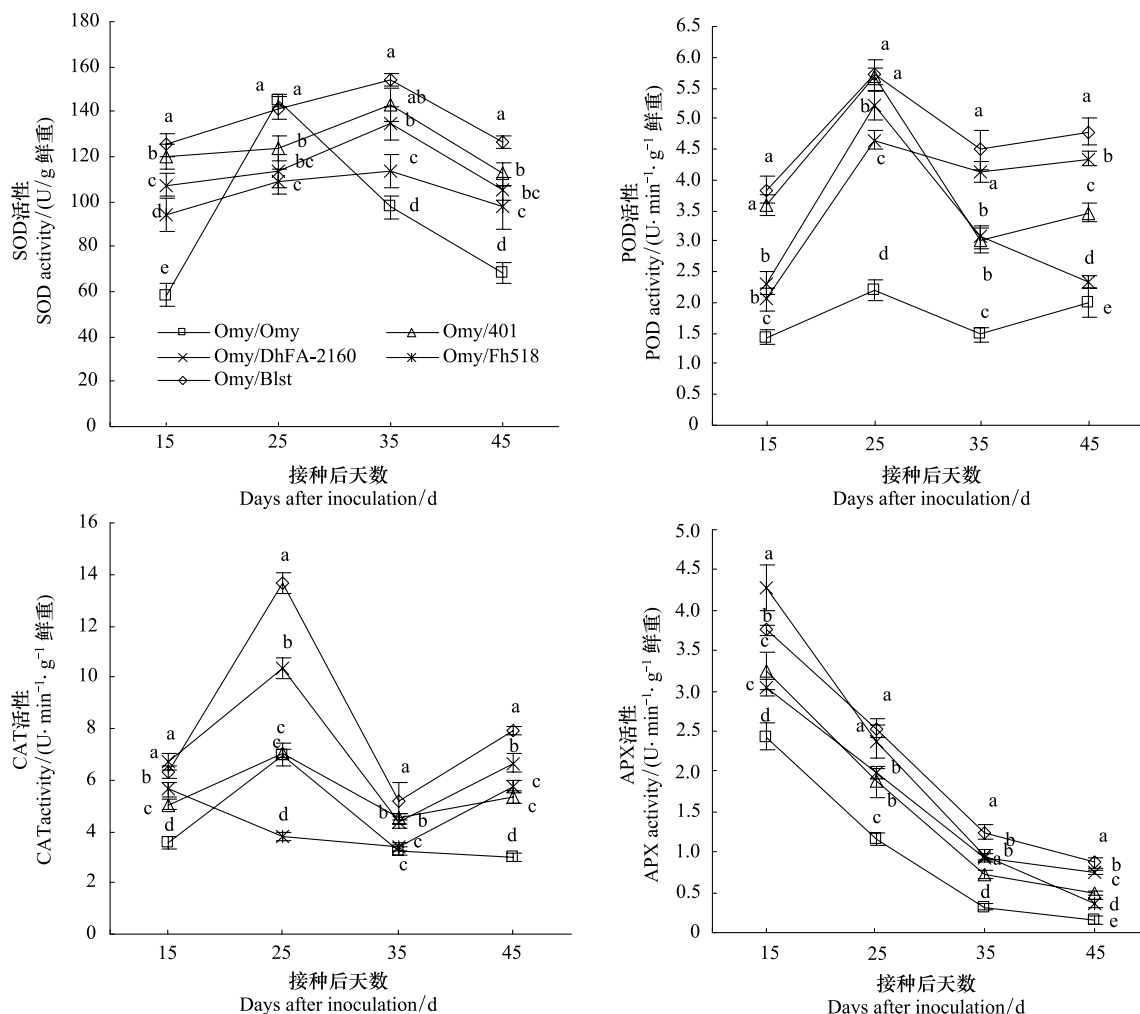


图 2 南方根结线虫对番茄嫁接苗接穗叶片 SOD、POD、CAT 和 APX 活性的影响

Fig. 2 Effects of *M. incognita* on the activities of SOD, POD, CAT and APX in the leaves of tomato grafted

3 讨论与结论

通过调查番茄嫁接苗根系的根结情况发现, 自根嫁接苗在接种后 15d 就已经被南方根结线虫严重侵染, 随着生育进程的延长根结数越来越多, 并越来越大。4 个砧木嫁接苗在接种后的整个观察期内均未发现根

结。Judy 等^[29]研究表明,用野生西瓜作砧木与南瓜和葫芦进行嫁接换根后,嫁接苗的根结数明显减少,其对南方根结线虫的抗性明显增强。说明通过抗性砧木嫁接换根,可有效地提高接穗品种对南方根结线虫的抗性。

在正常情况下,植物体内活性氧的产生与清除处于动态平衡状态,其含量很低,不足以使植物本身受到伤害。当植物遭受到逆境胁迫时,开始产生大量的活性氧并在体内积累,这种活性氧代谢平衡就会被打破,细胞膜脂过氧化作用加强,膜系统受到损伤,最终导致植物受到伤害。植物体内的活性氧清除系统由抗氧化酶系统和抗氧化物质构成,其中抗氧化酶系统发挥主要作用。SOD、POD、CAT、APX 是重要的抗氧化酶,参与自由基的清除,猝灭活性氧,保护 SH 基。其中 SOD 是植物抗氧化酶系统中的第一道防线,是主要的活性氧清除酶系,它歧化 $O_2^{\cdot-}$ 为 H_2O_2 和 O_2 ; POD、CAT 和 APX 负责清除 H_2O_2 , 4 种酶共同作用减少植物体内的自由基含量,保护细胞膜不受或少受伤害,因此抗氧化酶活性的高低在一定程度上反映了抗逆性的强弱^[30]。有研究表明,在 NaCl 胁迫条件下,茄子嫁接苗和自根苗的抗氧化酶活性均被诱导,耐盐性强的嫁接苗的抗氧化酶活性显著高于耐盐性弱的自根苗,而 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率、 H_2O_2 和 MDA 含量则显著低于自根苗^[31]。正常条件下自根黄瓜、黑籽南瓜和嫁接黄瓜幼苗叶片中 POD、CAT 活性相差不大,盐胁迫处理后,各处理叶片中的 POD、CAT 活性均提高,但黑籽南瓜和嫁接黄瓜的酶活性显著高于自根黄瓜^[32]。用番茄耐盐品种影武者为砧木进行嫁接换根,未经 $Ca(NO_3)_2$ 处理时,番茄嫁接苗叶片的抗氧化酶活性显著高于自根苗,而 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率、 H_2O_2 和 MDA 含量无显著差异; $Ca(NO_3)_2$ 胁迫处理后,嫁接苗叶片的 SOD、POD 和 CAT 活性均显著高于自根苗,而 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率、 H_2O_2 和 MDA 含量则显著低于自根苗^[33]。本研究表明,番茄接种 15—45 d,采用 401、大红 FA-2160、粉鹤 518 和布鲁斯特 4 种砧木嫁接的番茄接穗叶片中 SOD、POD、CAT 和 APX 活性总体上明显高于自根嫁接苗,表现出更强的活性氧清除能力。

徐小明等^[10]研究认为,茄子抗南方根结线虫的水平与根系 $O_2^{\cdot-}$ 的产生速率和 H_2O_2 含量存在正相关关系。本研究表明,自根嫁接番茄叶片 $O_2^{\cdot-}$ 的产生速率和 H_2O_2 含量始终高于砧木嫁接苗,并呈先升高后降低再升高的趋势。由此认为,番茄砧木对南方根结线虫的抗性水平与接穗叶片 $O_2^{\cdot-}$ 的产生速率和 H_2O_2 的含量存在负相关的关系,这与徐小明等^[10]研究的结论不同。这种研究结果的差异可能与所研究的取样部位不同有关。

MDA 作为膜质过氧化产物,其含量多少可以反映细胞膜质过氧化程度和植物对逆境反应的强弱^[34-35]。自根嫁接苗叶片中 MDA 含量在 4 次取样中都显著高于 4 种砧木嫁接苗,说明接种南方根结线虫后,自根嫁接苗的膜质过氧化作用比砧木嫁接苗强烈,膜系统更易受损伤。

本试验结果表明,砧木嫁接苗接穗叶片中 SOD、POD、CAT、APX 活性高于自根嫁接苗, $O_2^{\cdot-}$ 产生速率以及 MDA 和 H_2O_2 含量低于自根嫁接苗,说明采用抗病砧木嫁接换根,在根结线虫侵染的情况下,可使接穗叶片维持较高的抗氧化酶活性,使之有效地清除活性氧,从而减少其对膜结构和功能的破坏。因此通过抗病砧木嫁接换根,使接穗具有更高的抗氧化酶活性,能够有效清除体内的活性氧,明显减少了 $O_2^{\cdot-}$ 的产生速率以及 H_2O_2 和 MDA 含量,降低了细胞膜脂过氧化水平,保护了细胞膜系统的完整性与稳定性,提高了对根结线虫的抗性能力。至于抗病砧木嫁接为什么能够影响到地上部接穗叶片的抗氧化酶活性和活性氧水平,是否抗病砧木的根系中存在某种信号传导物质将信号传导到地上部而发挥作用,有待于进一步研究。

综上所述,通过抗病砧木嫁接换根,明显提高了接穗叶片中 SOD、POD、CAT、APX 等抗氧化酶活性,降低了接穗叶片 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率以及 H_2O_2 和 MDA 的含量,能有效清除体内的活性氧,有效地抑制了根结线虫的侵染,在一定程度上缓解了南方根结线虫对番茄植株的伤害。

References:

- [1] Guo Y Y, Xu K, Wang X F, Su B L. Effects of *Meloidogyne incognita* initial inoculation density on ginger growth. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(11): 2136-2139.
- [2] Guo Y Y, Wang X F, Xu K, Zhang G M. Effect of *Meloidogyne incognita* on the physiological and chemical changes in ginger. Acta

- Phytopathologica Sinica, 2005, 35(1): 49-54.
- [3] Li W C, Dong H, Wang X F. Effects of root-knot nematode on growth, quality and yield of cucumber in greenhouse. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition, 2006, 37(1): 35-38.
- [4] Zhao H H, Yuan H, Wu X, Liu W Z. *Meloidogyne* species and their distributions in Shandong province. Journal of Laiyang Agricultural College, 2003, 20(4): 243-247.
- [5] Fan Y L, Zhang W G, Lu S H, Gao X Y, Liu L K. Identification of the root-knot nematode from vegetables in greenhouses in Shandong. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2009, 24(Suppl): 262-264.
- [6] Cao Z P, Yu Y L, Chen G K, Dawson R. Impact of soil fumigation practices on soil nematodes and microbial biomass. Pedosphere, 2004, 14(3): 389-393.
- [7] Morra L, Mennella G, D'Amore R. Grafting of aubergine (*Solanum melongena* L.) as a method of control against soil pathogens and yield increase. II. Contribution. Colture Protette, 1992, 21(12): 85-93.
- [8] Martínez-Rodríguez M M, Estañ M T, Moyano E, García-Abellán J O, Flores F B, Campos J F, Al-Azzawi M J, Flowers T J, Bolarín M C. The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an 'excluder' genotype is used as scion. Environmental and Experimental Botany, 2008, 63(1/3): 392-401.
- [9] Santa-Cruz A, Martínez-Rodríguez M M, Pérez-Alfocea F, Romero-Aranda R, Bolarín M C. The rootstock effect on the tomato salinity response depends on the shoot genotype. Plant Science, 2002, 162(5): 825-831.
- [10] Xu X M, Yu Q, Xu K, Dong C X, Wang Y G. Effects of infection with *Meloidogyne incognita* on reactive oxygen metabolism and correlated enzyme activities in roots of eggplant rootstock seedlings. Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(12): 1767-1772.
- [11] Wang Z H, Kong Y, Yang R, Cheng J H, Si L S, Zhao J F. Studies on rootstock screening and resistance to root-knot nematodes for grafted tomato. China Vegetables, 2008, (12): 24-27.
- [12] Li H, He H J, Gao F J, Zhang Z K. Effects of root-knot nematode on the physiological and biochemical indexes in cucumber seedling grafted on different rootstocks. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(11): 250-253.
- [13] Han L F, Cao Z P, Dong D F, Wang X H. Resistance evaluation of tomato rootstocks and cultivars (*lycopersicon esculentum*) to southern root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita*). Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(5): 1099-1102.
- [14] Zhao H H, Wu X, Chi X H. Infectivity evaluation of different tomato cultivars to *Meloidogyne incognita*. Journal of Laiyang Agriculture College, 2004, 21(2): 180-181.
- [15] Deng L, Liu L Y, Ren H Z. Comparison of growth characteristics and resistance to *Meloidogyne incognita* of different tomato rootstocks during seedling stage. Journal of Changjiang Vegetables, 2006, (11): 39-40.
- [16] Liu W X, Qu S S, Wang X F, Meng F C. Screening of tomato materials resistant to root knot nematode disease. Shandong Agricultural Sciences, 2000, (1): 39-39.
- [17] Chen Z D, Wang P S, Zhou Y, Ji Y L. Screening of tomato varieties with resistance to *Meloidogyne incognita*. China Vegetables, 2010, (18): 56-59.
- [18] Jia S S, Gao R G, Xu K. Screening and evaluation of tomato rootstocks for resistance to *Meloidogyne incognita*. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(12): 4301-4307.
- [19] Taylor A L, Sasser J N. Biology, Identification and Control of Root-knot Nematodes (*Meloidogyne species*). Yang B J, Zeng D P, trans. Beijing: Science Press, 1983: 87-91.
- [20] Liu W Z. Plant Pathogen Nematode. Beijing: China Agricultural Press, 2002: 414-415.
- [21] Feng M X, Wang P S, Jiang R D, Wang J Q, Zhang T, Cheng X. Application of several pesticides incorporated into soil in controlling nematodes. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(Suppl): 643-646.
- [22] Deng L, Zhao L Z, Liu L Y, Ren H Z. Effects of different rootstocks with resistance to root-knot nematode on growth, Quality and Yield of Tomato in Greenhouse. China Vegetables, 2007, (6): 13-16.
- [23] Wang A G, Luo G H. Quantitative relation between the reaction of hydroxylamine and superoxide anion radicals in plants. Plant Physiology Communications, 1990, (6): 55-57.
- [24] Lin Z F, Li S S, Lin G Z, Guo J Y. The accumulation of hydrogen peroxide in senescing leaves and chloroplasts in relation to lipid peroxidation. Acta phytophysiologica Sinica, 1988, 14(1): 12-16.
- [25] Zheng B S. Research Techniques in Contemporary Plant Physiology and Biochemistry. Beijing: China Meteorological Press, 2006: 40-92.
- [26] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology, 1981, 22(5): 867-880.
- [27] Zhao S J, Xu C C, Zou Q, Meng Q W. Improvements of method for measurement of malondialdehyde in plant tissues. Plant Physiology Communications, 1994, 30(3): 207-210.
- [28] Zhou J G, Ding S L, Yuan J Y, Zhao G, Zhou B. The effect of NaCl on SOD, POD and CAT activities in ramine. Journal of Wuhan University of Science and Engineering, 2007, 20(4): 35-37.
- [29] Thies J A, Ariss J J, Hassell R L, Olson S, Kousik C S, Levi A. Grafting for management of southern root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, in watermelon. Plant Disease, 2010, 94(10): 1195-1199.

- [30] Yang F Y, Wei C F, Liu Y. Protective enzyme systems in orange leaves under drought stress. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12 (1): 119-124.
- [31] Liu Z L, Zhu Y L, Hu C M, Wei G P, Yang L F, Zhang G W. Effects of NaCl stress on the growth, antioxidant enzyme activities and reactive oxygen metabolism of grafted eggplant. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(3): 537-541.
- [32] Cai Y P, Yuan Z H, Sun X W. Variation of protective enzyme's activity in grafted and self-rooted cucumber seedlings under salt stress. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Science Edition*, 2008, 34(5): 554-556.
- [33] Zhang G W, Zhu Y L, Liu Z L, Wen G P, Hu C M. Effect of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ stress on growth, activities of antioxidant enzymes and reactive oxygen metabolism of grafted tomatoes. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(3): 527-532.
- [34] Becana M, Dalton D A, Moran J F, Iturbe-Ormaetxe I, Matamoros M A, Rubio M C. Reactive oxygen species and antioxidants in legume nodules. *Physiologia Plantarum*, 2000, 109(4): 372-381.
- [35] Kanazawa S, Sano S, Koshiba T, Ushimaru T. Changes in antioxidative enzymes in cucumber cotyledons during natural senescence; comparison with those during dark-induced senescence. *Physiologia Plantarum*, 2000, 109(2): 211-216.

参考文献:

- [1] 郭衍银, 徐坤, 王秀峰, 苏保乐. 南方根结线虫初始接种密度对生姜生长的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2136-2139.
- [2] 郭衍银, 王秀峰, 徐坤, 张广民. 生姜对南方根结线虫侵染的生理生化反应. *植物病理学报*, 2005, 35(1): 49-54.
- [3] 李文超, 董会, 王秀峰. 根结线虫对日光温室黄瓜生长、果实品质及产量的影响. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2006, 37(1): 35-38.
- [4] 赵洪海, 袁辉, 武侠, 刘维志. 山东省根结线虫的种类与分布. *莱阳农学院学报*, 2003, 20(4): 243-247.
- [5] 樊颖伦, 张维国, 吕山花, 高信岩, 刘立科. 山东保护地蔬菜根结线虫种类鉴定. *华北农学报*, 2009, 24(增刊): 262-264.
- [10] 徐小明, 于芹, 徐坤, 董灿兴, 王玉光. 南方根结线虫侵染对茄子砧木幼苗根系活性氧代谢及相关酶活性的影响. *园艺学报*, 2008, 35(12): 1767-1772.
- [11] 王绍辉, 孔云, 杨瑞, 程继鸿, 司力姗, 赵金芳. 嫁接番茄抗根结线虫砧木筛选及抗性研究. *中国蔬菜*, 2008, (12): 24-27.
- [12] 李华, 贺洪军, 高凤菊, 张自坤. 根结线虫对不同砧木黄瓜嫁接苗根系生理生化指标的影响. *中国农学通报*, 2010, 26(11): 250-253.
- [13] 韩利芳, 曹志平, 董道峰, 王秀徽. 番茄砧木及品种对南方根结线虫的抗性鉴定. *园艺学报*, 2006, 33(5): 1099-1102.
- [14] 赵洪海, 武侠, 迟晓红. 不同番茄品种对根结线虫的感染性测定简报. *莱阳农学院学报*, 2004, 21(2): 180-181.
- [15] 邓莲, 刘丽英, 任华中. 不同番茄砧木抗根结线虫苗期生长特性及抗性比较. *长江蔬菜*, 2006, (11): 39-40.
- [16] 刘维信, 曲士松, 王秀峰, 孟凡成. 番茄根结线虫病抗源材料的筛选. *山东农业科学*, 2000, (1): 39-39.
- [17] 陈振德, 王佩圣, 周英, 吉玉玲. 筛选抗南方根结线虫的番茄品种. *中国蔬菜*, 2010, (18): 56-59.
- [18] 贾双双, 高荣广, 徐坤. 番茄砧木对南方根结线虫抗性鉴定. *中国农业科学*, 2009, 42(12): 4301-4307.
- [19] 泰勒 A L, 萨塞 J N. 植物根结线虫(生物学、分类鉴定和防治). 杨宝君, 曾大鹏, 译. 北京: 科学出版社, 1983: 87-91.
- [20] 刘维志. 植物病原线虫学. 北京: 中国农业出版社, 2002: 414-415.
- [21] 冯明祥, 王佩圣, 姜瑞德, 王继青, 张涛, 程星. 农药混用进行土壤消毒防治番茄根结线虫技术研究. *农业环境科学学报*, 2007, 26(增刊): 643-646.
- [22] 邓莲, 赵灵芝, 刘丽英, 任华中. 抗南方根结线虫不同番茄砧木田间综合评价. *中国蔬菜*, 2007, (6): 13-16.
- [23] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧自由基与羟胺反应的定量关系. *植物生理学通讯*, 1990, (6): 55-57.
- [24] 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 郭俊彦. 衰老叶片和叶绿体中 H_2O_2 的累积与膜脂过氧化化的关系. *植物生理学报*, 1988, 14(1): 12-16.
- [25] 郑炳松. 现代植物生理生化研究技术. 北京: 气象出版社, 2006: 40-92.
- [27] 赵世杰, 许长成, 邹琦, 孟庆伟. 植物组织中丙二醛测定方法的改进. *植物生理学通讯*, 1994, 30(3): 207-210.
- [28] 周建刚, 丁少丽, 袁金友, 赵刚, 周斌. NaCl 胁迫对苎麻叶片中 SOD、POD 及 CAT 活性的影响. *武汉科技学院学报*, 2007, 20(4): 35-37.
- [30] 杨方云, 魏朝富, 刘英. 干旱胁迫下甜橙叶片保护酶体系的变化研究. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(1): 119-124.
- [31] 刘正鲁, 朱月林, 胡春梅, 魏国平, 杨立飞, 张古文. 氯化钠胁迫对嫁接茄子生长、抗氧化酶活性和活性氧代谢的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(3): 537-541.
- [32] 蔡雁平, 袁祖华, 孙小武. 盐胁迫下嫁接黄瓜和自根黄瓜幼苗的保护酶活性变化. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2008, 34(5): 554-556.
- [33] 张古文, 朱月林, 刘正鲁, 魏国平, 胡春梅. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫对嫁接番茄生长、抗氧化酶活性和活性氧代谢的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(3): 527-532.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 7 April, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Theoretical framework and key techniques of urban ecological landscape research	SUN Ranhao, XU Zhongliang, CHEN Liding, et al (1979)
Response of sinapate esters in <i>Arabidopsis thaliana</i> to UV-B radiation	LI Min, WANG Yin, MU Xiaofei, et al (1987)
Biosorption of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solution by <i>Chlorella pyrenoidsa</i> and its influential factors	JIANG Jing, LI Liang, LI Haipeng, et al (1995)
Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels	HAN Lixin, WANG Youke, ZHANG Linlin (2004)
An approach for analyzing resources metabolism of industrial ecosystems	SHI Xiaoqing, YANG Jianxin, WANG Rusong, et al (2012)
Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province	ZHAO Huihui, WANG Yuan, GU Xueming, et al (2025)
Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province	BAI Linhong, WANG Wei, ZHANG Yu (2033)
Inhibition effects and mechanisms of the endophytic fungus <i>Chaetomium globosum</i> L18 from <i>Curcuma wenyujin</i>	WANG Yanhong, WU Xiaomin, ZHU Yanping, et al (2040)
Water use of walnut-wheat intercropping system based on stable carbon isotope technique in the low hilly area of North China	HE Chunxia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (2047)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau	ZHANG Liqing, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2056)
Relationship among rice root aerenchyma, root radial oxygen loss and rhizosphere nitrification	LI Yilin (2066)
Effects of <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars	WANG Xicun, YU Yi, ZHOU Hongxu, et al (2075)
Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community	JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, et al (2082)
Detecting major phenological stages of rice using MODIS-EVI data and Symlet11 wavelet in Northeast China	XU Yanyan, ZHANG Jiahua, YANG Limin (2091)
Cropping system optimization based on the comparative analysis of precipitation utilization in Sichuan Province	WANG Mingtian, QU Huihui, YANG Xiaoguang, et al (2099)
The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China	GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan (2110)
Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin	ZHU Xiaohong, MA Zhongwen, MA Youhua, et al (2119)
Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on net ion fluxes in the roots of trifoliate orange (<i>Poncirus trifoliata</i>) and mineral nutrition in seedlings under zinc contamination	XIAO Jiaxin, YANG Hui, ZHANG Shaoling (2127)
The effect of red:far red ratio on the stomata characters and stomata conductance of <i>Chrysanthemum</i> leaves	YANG Zaiqiang, ZHANG Jing, JIANG Xiaodong, et al (2135)
Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China	LIU Lei, SHEN Guozhen, CHEN Fangqing, et al (2142)
Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau	ZHOU Xiaogang, GUO Shenli, CHE Shengguo, et al (2150)
Life history and spatial distribution of a <i>Taiwania flousiana</i> population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China	CHEN Zhiyang, YANG Ning, YAO Xianming, et al (2158)
The feasibility of using LAS measurements of the turbulence structure parameters of temperature above a forest canopy	ZHENG Ning, ZHANG Jinsong, MENG Ping, et al (2166)
Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS	XU Shaojun, ZENG Bo, SU Xiaolei, et al (2174)
Early nitrogen deposition effects on CO ₂ efflux from a cold-temperate coniferous forest soil	WENDU Runa, FANG Huajun, YU Guirui, et al (2185)
Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (2196)
Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (<i>Cyprinus carpio</i>) in Xiaolangdi Reservoir	SUN Luyin, Baiyinbaoligao, NIU Cuijuan, et al (2204)
Environmental cost of pond aquaculture in Shanghai: an empirical analysis based on double-bounded dichotomous CVM method	TANG Keyong, YANG Zhengyong, YANG Huaiyu, et al (2212)
Host searching behaviour of <i>Apanteles cypris</i> Nixon (Hymenoptera: Braconidae) ...	ZHOU Hui, ZHANG Yang, WU Weijian (2223)
The effect of hedgerows on the distribution of <i>Harmonia axyridis</i> Pallas in agroforestry systems	YAN Fei, ZHOU Zaibao, WANG Shuo, et al (2230)
Induction of early resistance response to <i>Alternaria alternate</i> f. sp. <i>mali</i> in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth ...	WANG Rongjuan, YAO Yuncong, QI Yaping, et al (2239)
Review and Monograph	
Research into vulnerability assessment for coastal zones in the context of climate change	WANG Ning, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (2248)
Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species <i>Sonneratia apetala</i>	PENG Yougui, XU Zhengchun, LIU Minchao (2259)
Discussion	
Degradation of organic contaminants with biological aerobic fermentation in sewage sludge dewatering and its influencing factors	YU Jie, ZHENG Guodi, GAO Ding, et al (2271)
Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using four greening tree species	YAN Wende, LIANG Xiaocui, ZHENG Wei, et al (2279)
Scientific Note	
Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China	LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, et al (2288)
Effects of <i>Meloidogyne incognita</i> on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks ...	LIANG Peng, CHEN Zhende, LUO Qingxi (2294)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元