

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
2011



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 31 卷 第 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苧麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响

周宝利¹, 刘娜², 叶雪凌¹, 鲁博³

(1. 沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110161; 2. 上海市农业科学院园艺研究所, 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海 201106;
3. 上海市农业科学院农业科技信息研究所, 上海 201106)

摘要: 采用番茄为砧木嫁接茄子, 经过 GC-MS 检测, 研究了黄萎菌胁迫前后嫁接对茄子植株根系次生代谢的影响。通过比较黄萎菌胁迫前后茄子根系次生代谢物质的变化, 探讨了嫁接在胁迫前后对植株根系次生代谢的调节作用, 并对嫁接茄根系分泌物中丁二酸二甲酯对茄子黄萎菌及茄子种子萌发、幼苗生长的化感效应进行了研究。结果表明, 黄萎菌胁迫前, 嫁接影响了根系的次生代谢物质的分泌, 表现为物质种类和数量的增加, 各类物质相对含量改变。嫁接茄子根系分泌物中检测出 9 大类、66 种物质, 比自根茄处理多出 4 大类、33 种物质。黄萎菌胁迫时, 嫁接茄子田间表现出明显的抗病性; 进一步对根系分泌物进行检测发现, 嫁接茄根系分泌物中物质种类和相对含量与自根茄处理相比均有显著差别; 嫁接茄根系分泌物中烃和酚醇类物质相对含量分别增加了 3.25% 和 0.07%, 苯类、萜类和脂肪酸酯类物质相对含量降低, 降幅分别为 2.62%、0.26% 和 0.07%。新出现了胺类物质, 茱萸类物质。黄萎菌胁迫前后茄子根系次生代谢物质成分同样发生了变化。与接菌前嫁接茄子植株根系分泌物相比, 接菌后嫁接处理的苯类、萜类、酚醇类和胺类物质相对含量增加, 增幅分别为 22.07%、1.72%、1.21% 和 0.34%; 烃类和脂肪酸酯类物质相对含量降低了 1.28% 和 21.75%; 酮类、吡唑类和茱萸类物质消失。新增物质中以丁二酸二甲酯的相对含量最高, 达 14.38%。随后的生物检测结果显示, 丁二酸二甲酯能够提高茄子田间抗病性, 对黄萎菌菌丝生长起化感抑制作用, 并促进了茄子种子的萌发和幼苗的生长, 随着处理浓度升高作用效果增强, 并在 1 mmol/L 处理时达到最佳作用效果。

关键词: 茄子; 嫁接; 次生代谢; 根系分泌物; 黄萎病菌; 丁二酸二甲酯; 化感作用

Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under *Verticillium dahliae* stress

ZHOU Baoli^{1,*}, LIU Na², YE Xueling¹, LU Bo³

1 College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

2 Horticultural Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences; Shanghai Key Lab of Protected Horticultural Technology, Shanghai 201106, China

3 The Information Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201106, China

Abstract: Plants synthesize a diverse array of secondary metabolites that are important for them to survive and flourish in the natural environments. The root secondary metabolites play an important role in plant microbe interactions, particularly in the plant defenses against pathogenic attacks. *Verticillium dahliae* the causal agent of Verticillium wilt, often attack the root of eggplants, and causes significant reductions of yield in eggplant (*Solanum melongena* L.) production where crop rotation is limited. Grafting is considered as an effective method to control this disease. Some wild species eggplants and resistant tomatoes are available for eggplant rootstock. After grafting, the root secondary metabolites could change to resist the *V. dahliae* stress. Therefore, the regulation of grafting to root secondary metabolism may be one of the disease resistance metabolisms for grafting. Using tomato as rootstock, the effects of grafted eggplant on root secondary metabolites were studied by GC-MS in this paper. The modulation of grafting to root secondary metabolism was discussed by comparing the root secondary metabolites with and without *Verticillium dahliae* stress. The allelopathic effects of butanedioic acid,

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30771469); 国家“十一五”科技支撑计划重点项目 (2008BADA6B02); 辽宁省教育厅高等学校创新团队项目 (2009T087)

收稿日期: 2009-12-15; **修订日期:** 2010-09-09

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

dimethyl ester to *Verticillium* wilt (*Verticillium dahliae*), seed germination and seedling growth of eggplant in grafted treatment were determined using simulative method. The results showed that grafting affected the secondary metabolism of eggplant roots without *V. dahliae* stress. The categories and amounts of root secondary metabolites increased, and their relative contents in grafted treatment changed compared with non-grafted treatment. Nine categories and 66 substances in grafted treatment were detected, in which were 4 categories and 33 substances were determined in grafted treatment than in non-grafted treatment. Under *V. dahliae* stress, the grafted treatment exhibited strong disease resistance. Among the root secondary metabolites, the relative contents of hydrocarbon and phenol and alcohol in grafted treatment were increased by 3.25% and 0.07% compared with non-grafted treatment, while benzene, indene and fatty acid ester were decreased by 2.62%, 0.26% and 0.07%, respectively. Amine was detected only in grafted treatment, but not fluorine. For grafted treatment, after inoculating *V. dahliae*, the contents of benzene, indene, phenol, alcohol and amine were increased by 22.07%, 1.72%, 1.21% and 0.34%, respectively, but hydrocarbon and fatty acid ester decreased by 1.28% and 21.75%, respectively. There was no ketone, carbazole and fluorine in grafted treatment under *V. dahliae* stress. Butanedioic acid, dimethyl ester presented only in grafted treatment after inoculating *V. dahliae*, and was the most distinct. Butanedioic acid, dimethyl ester enhanced the disease resistance of eggplant and inhibited the mycelium growth of *V. dahliae*. And it improved the seed germination and seedling growth of eggplants. At the concentration of 1 mmol/L, the improvements were the best. It indicates that grafting can affect the composition of eggplants by using tomato as rootstock.

Key Words: eggplant; grafting; secondary metabolism; root exudate; *Verticillium dahliae*; butanedioic acid; dimethyl ester; allelopathy

植物次生代谢是植物通过渐变或突变获得的一种适应生存的方式,是植物长期进化过程中对生态环境适应的结果^[1]。次生代谢产物并非生物体或细胞生长所必需,但是在提高植物自身保护和生存竞争能力,协调与环境的关系中充当重要角色^[2]。到目前为止已发现几百种次生代谢产物参与植物抗真菌、细菌、病毒甚至线虫的作用^[3],包括防御病原菌的植保素类物质,对昆虫及动物实现阻食、忌避、引诱和毒杀作用的物质以及一些信号分子^[4]。植物在逆境条件下会通过调控次生代谢途径以抵御不利环境的影响,提高抗病性^[5]。当植物根系受到病原菌侵染时,根部防御性次生物质的合成会增加以防止病原菌的侵袭。因此,植物根系的次生代谢对防治土传病害起着举足轻重的作用。茄子黄萎病是一种从根部系统侵染的维管束病害,是造成茄子连作障碍的主要土传病害之一。采用嫁接技术可以有效预防茄子黄萎病,克服茄子连作障碍^[6-9]。常用的砧木包括野生茄子砧木和抗病番茄砧木。在黄萎菌胁迫下,嫁接很可能在一定程度调控了茄子根部次生代谢,以抵御黄萎病病原菌的侵染,使嫁接茄子表现出较高的抗病性。但是,至今有关嫁接与茄子根系次生代谢产物关系的报道还不多见。

根系分泌物是植物根部次生代谢产物,其成分的变化会直接反应出根系次生代谢的变化^[10]。本研究通过分离鉴定和比较黄萎菌胁迫前后嫁接茄和自根茄植株根系分泌物的成分及其变化,旨在探讨病原菌侵染时嫁接对根部次生代谢的调控作用,初步揭示嫁接茄子主动防御的抗病机制,为嫁接调控茄子根部次生代谢提供生化依据。并且选取在未接菌条件下嫁接茄和自根茄处理中未检测到,而在黄萎菌胁迫时嫁接茄和自根茄处理根系次生代谢物中新出现的,且相对含量较高的物质丁二酸二甲酯为模拟生化物质,通过室内外生物检测的方法,明确丁二酸二甲酯对黄萎菌和茄子种子萌发、幼苗生长的化感效应,为嫁接调控茄子根部次生代谢提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于2007年2月至2008年5月在沈阳农业大学园艺学院蔬菜栽培基地进行。以抗病番茄品种“lydl”为砧木,以“西安绿茄”为接穗采用劈接法嫁接。供试菌种茄子黄萎病菌(*Verticillium dahliae*)来源于茄子连作

病圃中发病植株,分离纯化后经沈阳农业大学植物保护学院真菌室鉴定,备用。

1.2 试验设计

2007年2月13日播种接穗,3月17日播种番茄砧木,4月23日采用劈接法嫁接。嫁接后常规管理,待嫁接苗成活后转入瓦盆(16 cm×16 cm)中栽培,基质采用未种植过蔬菜作物的大田土。每处理30盆,随机排列,3次重复。定植5 d后采用伤根法接种浓度为 1×10^7 cfu·mL⁻¹的黄萎菌孢子悬浮液,每株接种100 mL,以不接菌处理为对照。即:试验设未接菌嫁接苗、未接菌自根苗和接菌嫁接苗、接菌自根苗4个处理。接菌和未接菌处理试材采用同样条件的田间管理。从田间出现发病株开始,每隔5 d调查1次病情,计算发病率和病情指数。5月25日(接菌后15 d)每个处理中各选取10株长势一致的植株,采用浸根法收集接菌处理未发病的嫁接茄和自根茄以及未接菌处理的嫁接茄和自根茄的根系分泌物,并进行GC-MS检测。选取接菌后茄子根系分泌物中特征性物质丁二酸二甲酯为研究对象。采用化学分析纯作为外源模拟生化试剂,按照该物质在根系分泌物中的峰值,并结合预备试验,选取4个浓度:0(对照)、0.1、0.5、1.0 mmol/L进行化感效应研究。配制溶液时,先用少量乙醇溶解丁二酸二甲酯,再加入蒸馏水,调节各溶液乙醇含量达1.5%。

1.3 根系分泌物的收集与浓缩

本试验于室内进行,采用浸根法收集。5月25日(接菌后15 d)将各处理茄苗从基质中取出,分别先后用清水和蒸馏水充分清洗附着在根系上的基质,然后将根系放入盛有500 mL蒸馏水的密闭不透光容器中,室温(23—28℃)下连续通气培养10 h,每个处理收集10株,适时添加蒸馏水补充挥发的水分。将经过过滤、定容后的收集液用等体积乙醚萃取3次,萃取液经无水Na₂SO₄滤至三角瓶中,用旋转蒸发器于40℃水浴中浓缩至5 mL,备用。测定试验设置的未接菌嫁接苗、未接菌自根苗和接菌嫁接苗、接菌自根苗4个处理各取10株植株的鲜重分别为196.25、194.40、167.32、152.84 g。

1.4 指标测定

1.4.1 田间抗病情况调查

从田间出现病株开始,每隔5 d调查1次病情,计算发病率和病情指数。

黄萎病病情分级标准:0级,无病株;1级,全株黄化萎蔫叶片少于1/4;2级,全株黄化萎蔫叶片占1/4—2/4;3级,全株黄化萎蔫叶片占2/4—3/4;4级,全株黄化萎蔫叶片达到3/4以上至全部萎蔫枯死。

$$\text{发病率}(\%) = (\text{发病株数} / \text{总株数}) \times 100$$

$$\text{病情指数} = \sum(\text{级数} \times \text{株数}) / (\text{最高级数} \times \text{总株数}) \times 100$$

1.4.2 根系分泌物 GC-MS 分析

气相色谱-质谱仪为6890GC/5973MSD(Agilent公司),色谱柱:HP-5MS毛细管柱,30 m×0.32 mm,0.25 μm(滤膜)。程序升温:柱温60℃以10℃/min升至140℃,保持2 min;以15℃/min升至220℃,保持2 min;再以20℃/min升至240℃,保持10 min。进样口温度220℃,载气He,流速1 mL/min;进样量为1 μL。质谱条件:电离方式EI,电子能量70 eV,离子源温度230℃,四极杆温度150℃,全扫描方式,扫描范围30—600 m/z。通过谱图库NIST98检索确定化合物。采用归一法计算各种成分的相对含量。

1.4.3 丁二酸二甲酯化感效应验证

(1) 室内抑菌试验

采用生长速率法测定丁二酸二甲酯对黄萎菌菌丝生长的化感作用。将制备好的各浓度溶液1 mL,加入到49 mL已融化并冷却至40℃的灭菌PDA培养基中,混合均匀后倒入培养皿中,每皿接3个直径为0.6 cm的菌片,每处理重复3次。于25℃下暗培养,3 d后用十字交叉法测定菌落直径,连续测定5次。测定结果参照Williamson等^[11]的方法,采用化感作用效应指数(RI)表示。当 $T \geq C$ 时, $RI = 1 - C/T$;当 $T \leq C$ 时, $RI = T/C - 1$ 。其中,C为对照值,T为处理值。 $RI > 0$ 为促进作用, $RI < 0$ 为抑制作用,绝对值大小与作用强度一致。均以RI值作为原始数据,采用DPS数据处理系统进行统计分析。

(2) 田间防病试验

常规营养钵育苗,待幼苗长至4叶1心时选取健康、长势一致的茄子幼苗施加丁二酸二甲酯溶液,每个处理在植株根际约10 cm范围内均匀浇灌100 mL不同浓度的溶液,每隔3 d施加1次,连续施加3次。3 d后采用伤根法接种黄萎菌。黄萎菌孢子悬浮液浓度为 1×10^7 cfu/mL,每株接种100 mL。从田间出现病株开始,每隔5 d调查1次病情,连续调查5次,计算病情指数。每处理30株,随机排列,3次重复。

(3) 种子萌发试验

采用滤纸培养皿法,分别取各浓度溶液5 mL分别加入铺有2层定性滤纸的培养皿中,每皿放入均匀一致并经10% H_2O_2 消毒处理的茄子种子50粒,放入多功能气候培养箱中培养。每天补充适量水分,以保持滤纸湿度。培养至种子发芽后,每隔24 h观察种子萌发状况,记录发芽率,7 d后测定总发芽率、胚根长和苗长,并计算发芽速度指数(I)、发芽势和化感效应指数(RI)。各处理均设3次重复。

$$I = 2 \times (7 \times X_1 + 6 \times X_2 + 5 \times X_3 + 4 \times X_4 + 3 \times X_5 + 2 \times X_6 + 1 \times X_7)$$

式中, X 为每隔24 h发芽的种子数, $X_1 = 24$ h记录的发芽数, $X_2 = 48$ h记录的发芽数,以此类推。

$$\text{发芽势}(\%) = \text{发芽达到高峰期的种子发芽数} / \text{供试种子总数} \times 100$$

(4) 茄子幼苗生长试验

选取发芽势一致的茄子种子播于盛有珍珠岩、草炭与蛭石(3:2:1)基质的营养钵(13 cm × 12 cm)中。待4叶1心时浇灌不同浓度的试剂。每个处理施加100 mL,于处理后第7天对茄子的株高、茎粗、地上和地下部分鲜重进行测定,并计算化感效应指数(RI)。每个处理30株,3次重复。

2 结果与分析

2.1 非黄萎菌胁迫下嫁接对茄子根系次生代谢的影响

由表1可知,在非接菌条件下,嫁接茄子与自根茄子处理相比根系次生代谢物质的数量和各类物质的相对含量均发生了变化。嫁接茄子根系分泌物中检测出9大类、66种物质,而自根茄处理仅有5大类、33种物质。嫁接后,茄子根系分泌物中脂肪酸酯类和烃类物质的相对含量分别增加了13.41%和4.06%;苯类、酚醇类和萜类物质相对含量分别下降了13.15%、6.87%和0.65%;新增了酮类(3-吡啶酮)、咪唑类(4,5-二甲基咪唑,2,3,6-三甲基咪唑)、胺类(9-乙基-9H-3-咪唑基胺,7-甲基-1,8-吡啶-2-胺)和茱类(9-甲氧基茱)物质。其中,脂肪酸酯类和苯类物质相对含量的总和在嫁接和自根处理根系分泌物中占绝大部分,分别占90.56%和90.30%。脂肪酸酯类物质为根系分泌物中相对含量最多的一类物质,其增幅最大,并且各个物质变化幅度也最大。甲基丁二酸二仲丁酯、己二酸二异丁酯和邻苯二甲酸二丁酯相对含量增加,增幅分别为10.67%、9.49%和2.93%;邻苯二甲酸二异丁酯相对含量降低,降幅为10.61%;新增物质中丁二酸二异丁酯的增幅最大,为6.77%;而丁二酸二丁酯和邻苯二甲酸二辛酯未在嫁接处理中检测出来。虽然苯类物质相对含量在嫁接后有所降低,但是物质数量增加了16种,是物质数量最多的一类。2,6-二甲苯和1,4,6-三甲苯相对含量分别增加了0.58%和0.52%,为增幅最大的两个物质;新增物质中1,6,7-三甲苯(1.75%)、2,3-二甲苯(1.52%)、1,5-二甲苯(0.72%)和卡拉烯(0.45%)的相对含量较高;而 β -甲基萘(8.55%)、萘(4.50%)、 α -甲基萘(3.66%)、五甲苯(2.28%)、1,6-二甲苯(0.71%)和1,2,4,5-四甲苯(0.57%)的降幅较大;并有4个物质在嫁接处理中未检测出来。

2.2 黄萎菌胁迫下嫁接对茄子植株抗黄萎病效果的影响

从表2可以看出,当黄萎菌胁迫时,嫁接植株在田间表现出极强的抗病性。5月30日,嫁接茄的发病率和病情指数均为0,未出现发病株,而自根茄的发病率为高达66.67%,病情指数为36.25。至6月9日,嫁接茄子发病率仅为9.52%,病情指数为2.5,而自根茄已完全发病,发病率为100%,病情指数为81.48。可见,黄萎菌胁迫下,嫁接显著提高了茄子的抗病性。

2.3 黄萎菌胁迫下嫁接对茄子根系次生代谢的影响

由表3可知,在黄萎菌胁迫时,嫁接茄子和自根茄子的根系次生代谢物质中所含种类大致相似。烃类、苯类、萜类、脂肪酸酯类、酚醇类为二者共有物质种类,嫁接后新增了胺类物质(9-乙基-9H-3-咪唑基胺),自根处

表 1 非黄萎菌胁迫下嫁接茄子和自根茄子根系次生代谢物质组成

Table 1 The composition of root secondary metabolites of grafted eggplant and non-grafted eggplant without *Verticillium dahliae* stress

化学物质名称 Name of the chemical	处理 Treatment		化学物质名称 Name of the chemical	处理 Treatment	
	嫁接茄/% Grafted eggplant	自根茄/% Non-grafted eggplant		嫁接茄/% Grafted eggplant	自根茄/% Non-grafted eggplant
1 烃类 Hydrocarbon	6.10	1.04	1,2,3,4-四氢-5,6-二甲萘 Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-5,6-dimethyl-	0.28	0.30
十三烷 Tridecane	0.35	—	(E)-1,2,3-三甲基-4-丙烯基萘 Naphthalene, 1,2,3-trimethyl-4-propenyl-, (E)-	0.10	—
十四烷 Tetradecane	0.15	0.58	联苯 Biphenyl	0.17	0.23
十八烷 Octadecane	0.72	—	2-甲基联苯 1,1'-Biphenyl, 2-methyl-	0.26	—
十九烷 Nonadecane	0.47	—	4-甲基联苯 1,1'-Biphenyl, 4-methyl-	0.78	0.51
二十烷 Eicosane	0.63	—	3,3'-二甲基联苯 3,3'-Dimethylbiphenyl	0.43	—
二十一烷 Heneicosane	0.72	0.15	3,4'-二甲基联苯 1,1'-Biphenyl, 3,4'-dimethyl-	0.19	—
二十二烷 Docosane	0.71	0.14	4,4'-二甲基联苯 4,4'-Dimethylbiphenyl	0.21	—
二十三烷 Tricosane	0.76	—	3,4-二乙基联苯 1,1'-Biphenyl, 3,4-diethyl-	0.24	—
二十四烷 Tetracosane	0.65	—	3,5,3',5'-四甲基联苯 3,5,3',5'-Tetramethylbiphenyl	0.29	—
二十五烷 Pentacosane	0.62	—	9-丁基-1,2,3,4-四氢蒽 Anthracene, 9-butyl-1,2,3,4-tetrahydro-	0.13	—
二十六烷 Hexacosane	0.10	—	3 萜类 Indene	0.56	1.21
1,5,6,7-四甲基-3-苯双环[3,2,0]-庚-2,6-二烯 1,5,6,7-Tetramethyl-3-phenylbicyclo[3,2,0]hepta-2,6-diene	0.22	—	2,3-二氢-4,7-二甲基-1H-萘 1H-Indene, 2,3-dihydro-4,7-dimethyl-	0.51	1.21
3-(甲氧基甲氧基)-1-辛烯 1-Octene, 3-(methoxymethoxy)-	—	0.17	2,3-二氢-1,1,3-三甲基-1H-萘 1H-Indene, 2,3-dihydro-1,1,3-trimethyl-	0.05	—
2 苯类 Benzene	37.42	50.57	4 脂肪酸酯类 Fatty acid ester	53.14	39.73
五甲苯 Benzene, pentamethyl-	0.22	2.50	丁二酸二丁酯 Butanedioic acid, dibutyl ester	—	4.95
1,2,4,5-四甲苯 Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	0.36	0.93	丁二酸二异丁酯 Butanedioic acid, bis(2-methylpropyl) ester	6.77	—
1-甲基-2-丙烯基苯 Benzene, 1-methyl-2-(2-propenyl)-	0.05	—	己二酸二异丁酯 Hexanedioic acid, bis(2-methylpropyl) ester	17.70	8.21
1-甲基-4-仲丁基苯 Benzene, 1-methyl-4-(1-methylpropyl)-	—	0.33	甲基丁二酸二仲丁酯 Butanedioic acid, methyl-, bis(1-methylpropyl) ester	22.19	11.52
1-甲基-3-[(4-苯甲基)甲基]苯 Benzene, 1-methyl-3-[(4-methylphenyl)methyl]-	0.27	—	乙基丙二酸二仲丁酯 Propanedioic acid, ethyl-, bis(1-methylpropyl) ester	0.17	—
2-甲基二邻甲苯 Benzene, 1,1'-methylenebis[2-methyl-	0.19	—	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	5.49	2.56
1,3-二甲基-5-异丙基苯 Benzene, 1,3-dimethyl-5-(1-methylethyl)-	—	0.64	邻苯二甲酸二异丁 1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	0.45	11.06
1-乙基-3-异丙基苯 Benzene, 1-ethyl-3-(1-methylethyl)	—	0.25	邻苯二甲酸二辛酯 Bis(2-ethylhexyl) phthalate	—	1.43
1-(1,1-二甲基乙基)-4-乙基苯 Benzene, 1-(1,1-dimethylethyl)-4-ethyl-	0.33	—	苯甲酸苄酯 Benzyl benzoate	0.26	—
1,1'-亚甲基二[4-甲基]苯 Benzene, 1,1'-methylenebis[4-methyl-	0.41	—	2-甲基-4-苯基-2,3-己二烯酸甲酯 2,3-Hexadienoic acid, 2-methyl-4-phenyl-, methyl ester	0.11	—
(4-乙酰基苯基)甲苯 (4-Acetylphenyl) phenylmethane	1.23	0.91	5 酮类 Ketone	0.28	0.00
叔戊基苯 Benzene, (1,1-dimethylpropyl)-	0.04	—	3-吡啶酮 3-Acridinol	0.28	—
1,3,5-三乙基苯 Benzene, 1,3,5-triethyl-	0.15	—	6 酚、醇类 Phenol, Alcohol	0.03	6.90
反-4-(4-正丙基环己基)-1-乙基 Cyclopentanone, 3,3,4-trimethyl-4-(4-methylphenyl)-	0.08	—	4-丁基-5-萘醇 4-Butyl-indan-5-ol	0.03	—
萘 Naphthalene	0.95	5.45	2-甲硫基乙醇 Ethanol, 2-(methylthio)-	—	3.24
α -甲基萘 Naphthalene, 1-methyl-	3.84	7.50	苯酚 Phenol	—	3.66
β -甲基萘 Naphthalene, 2-methyl-	5.66	14.21	7 卟啉类 Carbazole	1.32	0.00
1,2-二甲萘 Naphthalene, 1,2-dimethyl-	1.04	1.21	4,5-二甲基卟啉 Carbazole, 4,5-dimethyl-	0.76	—
1,3-二甲萘 Naphthalene, 1,3-dimethyl-	—	0.84	2,3,6-三甲基卟啉 Carbazole, 2,3,6-trimethyl-	0.56	—
1,5-二甲萘 Naphthalene, 1,5-dimethyl-	0.73	—	8 胺类 Amine	0.44	0.00

续表

化学物质名称 Name of the chemical	处理 Treatment		化学物质名称 Name of the chemical	处理 Treatment	
	嫁接茄/% Grafted eggplant	自根茄/% Non-grafted eggplant		嫁接茄/% Grafted eggplant	自根茄/% Non-grafted eggplant
1,6-二甲萘 Naphthalene, 1,6-dimethyl-	4.40	5.11	9-乙基-9H-3-唑啉基胺	0.27	—
2,3-二甲萘 Naphthalene, 2,3-dimethyl-	1.52	—	9H-Carbazol-3-amine, 9-ethyl-		
2,6-二甲萘 Naphthalene, 2,6-dimethyl-	6.76	6.18	7-甲基-1,8-吡啶-2-胺	0.17	—
1,4,6-三甲萘 Naphthalene, 1,4,6-trimethyl-	2.75	2.23	1,8-Naphthyridin-2-amine, 7-methyl		
1,6,7-三甲萘 Naphthalene, 1,6,7-trimethyl-	1.75	—	9 茚类 Fluorene	0.20	—
2,3,6-三甲萘 Naphthalene, 2,3,6-trimethyl-	0.64	0.38	9-甲氧基茚 9-Methoxy-fluorene	0.20	—
1-乙基萘 Naphthalene, 1-ethyl-	0.52	0.86	10-其他 Others	0.60	0.55
(-)-卡拉烯 Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	0.45	—	二仲丁基乙醚 Di-sec-butyl ether	—	0.55
			4,6,8-三甲基甘菊环 Azulene, 4,6,8-trimethyl-	0.48	—
			α-(4-甲氧基苯基)-2-吡啶乙腈 2-Pyridineacetonitrile, . α-(4-methoxyphenyl)-	0.12	—

表 2 嫁接对茄子黄萎病发病率、病情指数的影响

处理 Treatment	发病率 Incidence/%					病情指数 Severity				
	05-20	05-25	05-30	06-04	06-09	05-20	05-25	05-30	06-04	06-09
嫁接茄 Grafted eggplant	0 aA	0 aA	0 aA	4.78 aA	9.52 aA	0 aA	0 aA	0 aA	1.25 aA	2.5 aA
自根茄 Non-grafted eggplant	9.52 bB	42.86 bB	66.67 bB	76.19 bB	100 bB	2.47 bB	14.61 bB	36.25 bB	51.86 bB	81.48 bB

数字后不同大小写字母分别表示差异达 1 % ,5 % 显著水平

理中的茚类物质(2-甲基-9H-茚、1,4,7-三甲基-2-氮杂茚)在嫁接处理中未检测到。与自根处理相比,烃类和酚醇类物质相对含量增加,增幅分别为 3.25% 和 0.07%; 苯类、脂肪酸酯类、茚类物质相对含量分别减少了 2.62%、0.26% 和 0.07%。脂肪酸酯类和苯类物质总相对含量在两个处理中分别为 90.88% 和 94.26%, 同样占绝大部分。与自根处理相比,脂肪酸酯类物质中的丁二酸二甲酯、丁二酸二丁酯和己二酸二异丁酯相对含量增加,增幅分别为 1.15%、0.73% 和 0.24%, 并且这 3 种物质在酯类中相对含量较多; 邻苯二甲酸二丁酯相对含量降低了 2.23%, 降幅较明显。其他类物质中,嫁接处理中增幅较大的物质有 β-甲基萘(2.06%)、α-甲基萘(1.12%)、1,4,6-三甲萘(0.58%)、1,2,4,5-四甲苯(0.47%) 和十九烷(0.41%); 降幅较为明显的物质有(4-乙酰基苯基) 甲苯(1.40%)、1-乙基萘(1.25%)、4-甲基联苯(0.54%) 和五甲苯(0.53%); 二十八烷(1.58%)、1,5-二甲萘(1.23%)、1,6,7-三甲萘(0.79%)、二十一烷(0.70%) 和十八烷(0.60%) 在新增物质中相对含量较高; 而在自根处理中含量较多的 2,3,6-三甲萘、1,3-二甲萘、乙基-1,2,4-三甲苯和 4-甲基联苯在嫁接处理中消失。

2.4 黄萎菌胁迫前后嫁接对茄子根系次生代谢的调控

结合表 1 和表 3, 对比黄萎菌胁迫前后茄子植株根系分泌物成分可以看出, 嫁接影响了茄子根系次生代谢物质的组成。与接菌前嫁接茄子植株根系分泌物相比, 接菌后嫁接处理的苯类、茚类、酚醇类和胺类物质相对含量增加, 增幅分别为 22.07%、1.72%、1.21% 和 0.34%; 烃类和脂肪酸酯类物质相对含量降低了 1.28% 和 21.75%; 酮类、唑啉类和茚类物质消失。接菌胁迫后, 嫁接处理新出现了 17 种物质, 其中丁二酸二甲酯(14.38%)、丁二酸二丁酯(6.01%)、二十八烷(1.58%)、2,3-二氢-1,2-二甲基-1H-茚(1.44%)、6-甲基-4-茚醇(0.78%) 和三十一烷(0.70%) 相对含量较高; 但也有 30 种物质在接菌后消失; 五甲苯、1,2,4,5-四甲苯、萘、α-甲基萘、β-甲基萘、1,5-二甲萘 和 1,6-二甲萘的增幅较大; 而(4-乙酰基苯基) 甲苯、1,6,7-三甲萘、己二酸二异丁酯和邻苯二甲酸二丁酯的降幅较大。有些物质同时出现在黄萎菌胁迫下的嫁接茄和自根茄以及非胁迫时嫁接茄处理的次生代谢物中, 而在非黄萎菌胁迫的自根茄处理中并没有检测出这些物质, 含量较高的

表3 黄萎菌胁迫下嫁接茄子和自根茄子根系次生代谢物质组成

Table 3 The composition of root secondary metabolites of grafted eggplant and non-grafted eggplant under *Verticillium dahliae* stress

化学物质名称 Name of the chemical	处理 Treatment		化学物质名称 Name of the chemical	处理 Treatment	
	嫁接茄/%	自根茄/%		嫁接茄/%	自根茄/%
	Grafted eggplant	Non-grafted eggplant		Grafted eggplant	Non-grafted eggplant
1 烃类 Hydrocarbon	4.82	1.57	2,3-二甲萘 Naphthalene, 2,3-dimethyl-	1.94	1.81
癸烷 Decane	0.02	0.01	2,6-二甲萘 Naphthalene, 2,6-dimethyl-	6.93	7.32
十一烷 Undecane	0.13	—	1,4,6-三甲萘 Naphthalene, 1,4,6-trimethyl-	2.66	2.08
十三烷 Tridecane	—	0.12	1,6,7-三甲萘 Naphthalene, 1,6,7-trimethyl-	0.79	—
十六烷 Hexadecane	0.13	—	2,3,6-三甲萘 Naphthalene, 2,3,6-trimethyl-	—	1.93
十七烷 Heptadecane	0.42	—	1-乙基萘 Naphthalene, 1-ethyl-	0.71	1.96
十八烷 Octadecane	0.60	—	1,3,5-乙基萘 Benzene, 1,3,5-triethyl-	—	0.46
十九烷 Nonadecane	0.54	0.13	1,2,3,4-四甲萘	—	0.19
二十烷 Eicosane	0.59	0.19	Naphthalene, 1,2,3,4-tetramethyl-	—	0.19
二十一烷 Heneicosane	—	0.23	(E)-1,2,3-三甲基-4-丙烯基萘	—	0.05
二十二烷 Docosane	—	0.24	Naphthalene, 1,2,3-trimethyl-4-propenyl-, (E)-	—	0.05
二十三烷 Tricosane	—	0.27	联苯 Biphenyl	0.37	0.37
二十四烷 Tetracosane	—	0.16	4-甲基联苯 1,1'-Biphenyl, 4-methyl-	0.20	0.74
二十五烷 Pentacosane	—	0.13	3,3'-二甲基联苯 3,3'-Dimethylbiphenyl	0.16	0.30
二十八烷 Octacosane	1.58	—	3,4'-二甲基联苯 1,1'-Biphenyl, 3,4'-dimethyl-	0.08	0.12
三十一烷 Hentriacontane	0.70	—	4,4'-二甲基联苯 4,4'-Dimethylbiphenyl	0.15	—
柠檬烯 Limonene	0.11	—	3,5,3',5'-四甲基联苯	0.10	0.25
1,7,7-三甲基-2-乙烯基二环[2,2,1]庚-2-烯	—	0.08	3,5,3',5'-Tetramethylbiphenyl	—	0.07
1,7,7-Trimethyl-2-vinylbicyclo[2.2.1]hept-2-ene	—	0.08	联苯乙炔 Diphenylethyne	—	0.07
2 苯类 Benzene	59.49	62.61	9-丁基-1,2,3,4-四氢蒽	0.13	—
对二甲苯 p-Xylene	—	0.01	Anthracene, 9-butyl-1,2,3,4-tetrahydro-	—	0.03
间二甲苯 Benzene, 1,3-dimethyl-	—	0.01	9-丙基-1,2,3,4-四氢蒽	—	0.03
五甲苯 Benzene, pentamethyl-	2.33	2.86	Anthracene, 1,2,3,4-tetrahydro-9-propyl-	—	0.03
1,2,4,5-四甲苯 Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	2.29	1.82	3 茚类 Indene	2.28	2.35
1,2,3,5-四甲苯 Benzene, 1,2,3,5-tetramethyl-	—	0.01	2,3-二氢-4,7-二甲基-1H-茚	0.84	1.06
对异丙基苯	0.01	—	1H-Indene, 2,3-dihydro-4,7-dimethyl-	—	—
Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	0.01	—	2,3-二氢-1,2-二甲基-1H-茚	1.44	1.29
1-甲基-2-异丙基苯	0.01	—	1H-Indene, 2,3-dihydro-1,2-dimethyl-	—	—
Benzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl)	0.01	—	4 脂肪酸酯类 Fatty acid ester	31.39	31.65
1-甲基-2-丙基苯	0.44	0.32	丁二酸二甲酯	14.38	13.23
Benzene, 1-methyl-2-(2-propenyl)-	0.44	0.32	Butanedioic acid, dimethyl ester	—	—
1-甲基-3-异丙基苯	0.03	0.02	丁二酸二丁酯	6.01	5.28
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)	0.03	0.02	Butanedioic acid, dibutyl ester	—	—
1 甲基-4-仲丁基苯	0.05	—	己二酸二异丁酯	10.22	9.98
Benzene, 1-methyl-4-(1-methylpropyl)-	0.05	—	Hexanedioic acid, bis(2-methylpropyl) ester	0.22	2.25
1-甲基-3-[(4-苯甲基)甲基]苯	0.25	0.52	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	0.24	0.38
Benzene, 1-methyl-3-[(4-methylphenyl)methyl]-	0.25	0.52	邻苯二甲酸二异丁酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	0.14	0.20
4-甲基邻二甲苯	—	0.40	苯甲酸苄酯 Benzyl benzoate	0.18	0.21
Benzene, 1,1'-methylenebis[4-methyl-	—	0.40	方酸二正丁酯 Dibutyl squarate	—	0.11
1-乙基-2,3-二甲苯	0.02	0.01	己基戊二酸二仲丁酯	—	0.11
Benzene, 1-ethyl-2,3-dimethyl	0.02	0.01	Propanedioic acid, ethyl-, bis(1-methylpropyl) ester	—	0.11
2-乙基-1,4-二甲苯	0.02	—	5 酚、醇类 Phenol, Alcohol	1.24	1.17
Benzene, 2-ethyl-1,4-dimethyl-	0.02	—	4-丁基-5-茚醇 4-Butyl-indan-5-ol	0.46	0.47
4-乙基-1,2-二甲苯	—	0.02	6-甲基-4-茚醇 6-Methyl-4-indanol	0.78	0.70
Benzene, 4-ethyl-1,2-dimethyl-	—	0.02	6 胺类 Amine	0.78	0.00
(4-乙酰基苯基) 甲苯	0.39	1.79	9-乙基-9H-3-吡啶基胺	0.78	—
(4-Acetylphenyl) phenylmethane	0.39	1.79	9H-Carbazol-3-amine, 9-ethyl-	0.00	0.34
叔戊基苯 Benzene, (1,1-dimethylpropyl)-	—	0.29	9 茱类 Fluorene	4.88	4.81
1,3,5-三乙基苯 Benzene, 1,3,5-triethyl-	0.48	—	萘 Naphthalene	—	—
乙基-1,2,4-三甲苯	—	0.85			
Benzene, ethyl-1,2,4-trimethyl-	—	0.85			

续表

化学物质名称 Name of the chemical	处理 Treatment		化学物质名称 Name of the chemical	处理 Treatment	
	嫁接茄/% Grafted eggplant	自根茄/% Non-grafted eggplant		嫁接茄/% Grafted eggplant	自根茄/% Non-grafted eggplant
萘 Naphthalene	4.88	4.81	2-甲基-9H-芴 9H-Fluorene, 2-methyl-	—	0.03
α-甲基萘 Naphthalene, 1-methyl-	9.35	8.23	1,4,7-三甲基-2-氮杂芴	—	0.31
β-甲基萘 Naphthalene, 2-methyl-	17.31	15.25	1,4,7-Trimethyl-2-azafluorene		
1,3-二甲萘 Naphthalene, 1,3-dimethyl-	—	1.16	其他 Others	0.00	0.31
1,5-二甲萘 Naphthalene, 1,5-dimethyl-	1.23	—	4,6,8-三甲基甘菊环 Azulene,4,6,8-trimethyl-	—	0.18
1,6-二甲萘 Naphthalene, 1,6-dimethyl-	6.18	6.54	二苯并[c]二氢氧杂卓 Dibenz[c ,dihydrooxepin	—	0.13

有十九烷、二十烷 1-甲基-2-丙烯基苯、2,3-二甲萘和 4-丁基-5-茛醇;还有些物质仅出现在黄萎菌胁迫下的嫁接茄和自根茄处理中,而在接菌前未被检测出来,其中最为明显的是丁二酸二甲酯,相对含量分别为 14.38% 和 13.23%。

2.5 黄萎菌胁迫下根系分泌物中特征性物质化感效应验证

2.5.1 丁二酸二甲酯对黄萎病的影响

在调查日期内,各浓度丁二酸二甲酯处理的茄子幼苗的发病率和病情指数均显著低于对照,表现出较强的抗病性(表 4)。在较低浓度下,植株表现出较强的抗病效果,并且随着丁二酸二甲酯浓度的增大抗病性增强,1 mmol/L 处理的抗病效果最佳。至 5 月 10 日,1 mmol/L 处理的发病率和病情指数为 36.67% 和 20%,分别比对照降低了 34.49% 和 58.24%。

表 4 丁二酸二甲酯对茄子黄萎病的影响

Table 4 Effects of butanedioic acid, dimethyl ester on Verticillium wilt

浓度/(mmol/L) Concentration	发病率 Incidence/%					病情指数 Severity				
	04-20	04-25	04-30	05-05	05-10	04--20	04-25	04-30	05-05	05-10
0.00(CK)	16.67	43.33	56.67	76.67	96.67	4.17	15.00	32.50	55.83	75.83
0.05	13.33	36.67	43.33	60.00	83.33	3.33	12.50	23.33	38.33	55.83
0.10	6.67	23.33	36.67	56.67	73.33	1.67	7.50	16.67	30.83	47.50
0.50	3.33	20.00	30.00	43.33	50.00	0.83	5.83	13.33	24.17	35.83
1.00	0.00	3.33	16.67	23.33	43.33	0.00	0.83	5.00	10.83	31.67

2.5.2 丁二酸二甲酯对黄萎菌菌丝生长的影响

由表 5 可知,各浓度丁二酸二甲酯处理菌落直径的化感效应值(RI)为负值,即均抑制了黄萎菌菌丝的生长。同一培养时间内,菌落受抑制作用随着处理浓度的增大而增强,并于 1 mmol/L 达到最大抑制效果。培养 1 d 时 1 mmol/L 处理的抑制作用最大,抑制率为 11.65%。

表 5 丁二酸二甲酯对黄萎菌菌丝生长的化感效应(RI)

Table 5 Allelopathic effects of butanedioic acid, dimethyl ester on mycelium growth of Verticillium wilt (RI)

浓度/(mmol/L) Concentration	菌落直径的 RI 值 RI value of Colony diameter				
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
0.00(CK)	0.0000 aA	0.0000 aA	0.0000 aA	0.0000 aA	0.0000 aA
0.05	-0.0268 bB	-0.0466 bB	-0.0289 bB	-0.0214 bB	-0.0531 bB
0.10	-0.0839 cC	-0.0487 bB	-0.0283 bB	-0.0239 cC	-0.0572 bB
0.50	-0.0951 dD	-0.0703 cC	-0.0751 cC	-0.0465 dD	-0.0716 cC
1.00	-0.1274 eE	-0.0969 eE	-0.1110 eE	-0.1046 eE	-0.0959 eE

数字后不同大小写字母分别表示差异达 1%,5% 显著水平

2.5.3 丁二酸二甲酯对茄子种子萌发的影响

总体上看,丁二酸二甲酯在试验浓度内促进了茄子种子的萌发(表6)。并且浓度越大,种子的发芽率越高,发芽的整齐度越好,当浓度增至1 mmol/L时,种子萌发受到的促进作用最大。由化感效应值可知,与对照相比,低浓度的丁二酸二甲酯(0.05 mmol/L)对种子萌发的化感促进作用已达极显著水平。

表6 丁二酸二甲酯对茄子种子萌发的影响

Table 6 Effects of butanedioic acid, dimethyl ester on seed germination of eggplant

浓度 Concentration /(mmol/L)	发芽率 Germination rate/%	发芽率 <i>RI</i> <i>RI</i> of germination rate	发芽势 Germination potential/%	发芽势 <i>RI</i> <i>RI</i> of germination potential	发芽速度指数 Germination rate index (<i>I</i>)
0.00 (CK)	88.33 bB	0.0000 eE	83.33 cB	0.0000 eD	1026.67 dC
0.05	89.93 bAB	0.0178 dD	89.83 bcAB	0.1213 dC	1168.33 cB
0.10	94.89 aA	0.0691 cC	91.44 abAB	0.2290 cB	1331.67 bA
0.50	96.67 aA	0.0862 bB	93.33 abA	0.2442 bB	1358.33 abA
1.00	98.33 aA	0.1017 aA	93.33 aA	0.2623 aA	1391.67 aA

数字后不同大小写字母分别表示差异达1%,5%显著水平

2.5.4 丁二酸二甲酯对茄子幼苗生长的影响

由表7可以看出,各浓度丁二酸二甲酯极显著地促进了茄子幼苗的生长。随着浓度的增大,促进作用增强,于1 mmol/L时促进作用达到最大。这与对种子萌发的作用效果一致。并且,丁二酸二甲酯对地下鲜重的影响强于其他指标,各浓度的化感促进作用均达到极显著水平。

表7 丁二酸二甲酯对茄子幼苗生长的影响(*RI*)

Table 7 Effects of butanedioic acid, dimethyl ester on eggplant growth (*RI*)

浓度 Concentration /(mmol/L)	地上鲜重 Fresh weight of ground/g	地上鲜重 <i>RI</i> <i>RI</i> of fresh weight of ground	地下鲜重 Fresh weight of root/g	地下鲜重 <i>RI</i> <i>RI</i> of fresh weight of root	株高 Stem height /cm	株高 <i>RI</i> <i>RI</i> of stem height	茎粗 Stem diameter /cm	茎粗 <i>RI</i> <i>RI</i> of stem diameter
0.00 (CK)	3.47 dD	0.0000 eE	1.30 dD	0.0000 eE	3.98 dD	0.0000 eE	0.325 cC	0.0000 cC
0.05	4.02 cC	0.1360 dD	1.42 cC	0.0845 dD	4.17 cC	0.0456 dD	0.399 bB	0.1855 bB
0.10	4.54 bB	0.2364 cC	1.44 cC	0.0985 cC	4.46 bB	0.1076 cC	0.403 abAB	0.1931 bB
0.50	5.00 aAB	0.3066 bB	1.65 bB	0.2121 bB	4.50 bB	0.1156 bB	0.416 aA	0.2187 aA
1.00	5.06 aA	0.3145 aA	1.75 aA	0.2563 aA	4.68 aA	0.1496 aA	0.423 aA	0.2315 aA

数字后不同大小写字母分别表示差异达1%,5%显著水平

3 结论与讨论

本研究结果表明,在非黄萎菌胁迫时,嫁接能够影响茄子根系次生代谢物质组成;在黄萎菌侵染时,嫁接调节了茄子根部的次生代谢,嫁接茄能够对病原菌侵入产生主动防御反应,并通过改变自身根系分泌物组成以抵御外界不良环境的胁迫,提高茄子抗病性。

非黄萎菌胁迫下,嫁接茄根系分泌物数量和物质种类明显增加;每类物质的组成和相对含量均发生了变化,其中变化较明显的为酯类和苯类物质。植物的根系参数,如:根系体积、根密度、根重等与根系分泌物的分泌量、物质种类和数量成正相关^[12]。本课题组在前期研究中发现,茄子/番茄嫁接可以使植株的根系体积增大,根重增加,根系活力增强^[8,13]。本试验中,在没有黄萎菌胁迫时,由于嫁接改善了根系相关参数可能导致嫁接茄子根系分泌物中物质种类数量增加。同时,根系次生代谢物质成分变化也可能是植株为抵御黄萎菌侵染做生理生化方面的准备。

植物根系的次生代谢产物—根系分泌物是土壤中化感物质的重要来源,主要用来适应土壤中不良环境对植物生长发育造成的不利影响。参与植物抗病反应的根系次生代谢产物有些是植物原有的成分,如角质、木栓质、木质素、胼胝质等相对分子质量高的成分,在病原菌侵入前作为物理障碍,而有些组成型表达的丹宁酸、多酚、生物碱类相对分子质量低的次生成分也足以阻止病原菌侵入而起抗病作用。Maher等^[14]通过抑制苯

丙氨酸裂解酶(PAL)的表达,降低了转基因烟草中酚类物质的含量,证明酚类化合物在限制烟草尾孢菌(*Cercospora nicotianae*)毒性小种侵染过程中起着重要作用。还有些次生代谢物质属于诱导型次生产物,是指在病原菌或其他诱导因子的作用下植物体内合成的化合物,其中最重要的是通过抑制或激活相关的酶系基因而合成新的代谢产物,即植保素(phytoalexin),这些物质主要是萜类、芪类、异黄酮类、生物碱类等小分子次生代谢产物^[15]。植物根系次生代谢产物在植物体内主要通过苯丙烷代谢途径、异戊二烯代谢途径和生物碱合成途径形成。另外莽草酸途径在植物次生代谢途径中也起到了中心作用。

本研究中,在黄萎菌胁迫下,嫁接茄子根系次生代谢物质成分与接菌自根茄处理相比有很大变化,体现在根系分泌物的物质种类及相对含量上。这极有可能是病原菌胁迫时,嫁接调节了茄子根系的次生代谢,使茄子植株主动发生防御反应,诱导根系分泌物中合成新的抑菌物质或者使原有抑菌次生物质发挥作用,以抵御病原菌侵染。值得注意的是,黄萎菌胁迫10 d后,未发病的自根茄处理根系分泌物成分出现了与嫁接茄相似的变化,这可能是因为自根茄在黄萎菌侵染初期,同样可以调节自身根部的次生代谢。但是,自根茄的这种主动调节作用远远弱于嫁接诱导产生的主动防御作用,表现为本试验中在接菌处理25 d后,自根茄全部感病,而嫁接茄的发病率仅为9.52%。因此,黄萎菌胁迫时,自根茄的主动防御作用无法从根本上阻止黄萎病的发生和蔓延,而嫁接技术则可以有效地预防茄子黄萎病。

对比黄萎菌胁迫前后根系次生代谢物质组成发现,嫁接茄植株次生代谢物质无论种类,还是相对含量上均有明显的变化。接菌后,嫁接茄处理新检测出17种物质,但有30种物质接菌后消失。从中可以推测,黄萎菌胁迫下,嫁接能够诱导茄子根系次生代谢途径发生改变,导致根系次生代谢物质成分变化,以抵御病原菌侵染。其中,变化最显著的是丁二酸二甲酯。胁迫前,在嫁接和自根茄子处理中未检测出丁二酸二甲酯;黄萎菌胁迫后,嫁接茄和自根茄根系分泌物中检测出较多含量的丁二酸二甲酯,并且嫁接处理中的相对含量高于自根茄处理,因此,为了确认该物质与黄萎菌胁迫下嫁接茄抗病性增强是否有关,本文选取丁二酸二甲酯为模拟生化物质,研究其对黄萎病和茄子幼苗的化感作用。生物测定结果表明,该物质在田间能够显著降低黄萎病的发病率和病情指数,提高茄子的抗病性,对黄萎菌病原菌菌丝生长有一定化感抑制作用。同时,在一定程度上可以提高种子的发芽率、发芽势和发芽速度指数,增加茄子幼苗的鲜重,加快株高和茎粗的生长,从而对茄子种子萌发和幼苗生长起到较强的化感促进作用。在试验浓度范围内,丁二酸二甲酯的化感作用强度随着处理浓度的加大而增强,当浓度为1 mmol/L时作用效果最佳。这与脂肪酸酯类物质一般在较高浓度才具有化感作用的结论一致^[16-18]。

化感作用的实质是植物产生并向环境中释放次生代谢产物,从而对自身或周围植物(微生物)产生化感效应的过程^[20]。在黄萎菌胁迫前后,各处理间脂肪酸酯类物质在相对含量上的变化在最为显著。脂肪酸酯是一类潜在的化感物质^[18-19]。近年来,许多研究证明脂肪酸酯类物质是植物源物质,并在很多植物的根系分泌物中检测出来^[20-21]。如,油菜^[21]、玉米^[22]、大豆^[23]、水稻^[17]、辣椒^[24]。此类物质也可能在环境作用下通过水解形成酸类物质而起作用。

目前,关于产生脂肪酸酯类物质的机制及其生理作用方面,尤其是化感作用方面的报道还不是很多。本试验仅以黄萎菌胁迫下新出现的,相对含量较高的丁二酸二甲酯为模拟生化物质研究其化感作用,根系次生代谢物中其他脂肪酸酯类物质与茄子抗病性的关系仍待继续研究。脂肪酸酯类物质的前体可能为脂肪酸,在植物体内脂肪酸代谢与糖代谢相联系,并共同参与三羧酸循环^[16]。因此,该类物质与嫁接诱导抗黄萎病以及与植物体内相关代谢途径的关系还需深入研究。

References:

- [1] Zhang X L, Pan Z G, Zhou X F, Ni W Z. Autotoxicity and continuous cropping obstacles: A review. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38 (4): 781-784.
- [2] Zhao X, Yan X F. Effects of arbuscula mycorrhizal fungi on plant secondary metabolism. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30: 514-521.
- [3] Davey M P, Bryant D N, Cummins I, Ashenden T W, Gates P, Baxter R. Effects of elevated CO₂ on the vasculature and phenolic secondary

- metabolism of *Plantago maritime*. *Phytochemistry*, 2004, 65: 2197-2204.
- [4] Wu J Y, Ng J, Shi M, Wu S J. Enhanced secondary metabolite (tanshinone) production of *Salvia miltiorrhiza* hairy roots in a novel root bacteria coculture process. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2007, 77: 543-550.
- [5] Li M, Zeng R S, Luo S M. Secondary metabolites related with plant resistance against pathogenic microorganisms and insect pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 2007, 23 (3): 269-273.
- [6] Bletsos F A, Thanassouloupoulos C C, Roupakias D G. Effect of grafting on growth, yield, and verticillium wilt of eggplant. *HortScience*, 2003, 38: 183-186.
- [7] Zhou B L, Lin G R, Fu Y W, Li Z Z. Effect of grafted eggplants on preventing Verticillium Wilt and increasing production. *Liaoning Agricultural Sciences*, 1997, (1): 53-56.
- [8] Zhou B L, Wang R H. Progress of graft between different genus of the main vegetable crop. *Journal of Changjiang Vegetables. Science Special*: 2002, 16-17.
- [9] Yin Y L, Zhou B L, Li Y P, Fu Y W. Allelopathic effects of grafting on rhizosphere microorganisms population of eggplants. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008, 35 (8): 1131-1136.
- [10] Zeng R S, Su Y J, Ye M, Xie L J, Song Y Y. Plant induced defense and biochemical mechanisms. *Journal of South China Agricultural University*, 2008, 29(2): 1-6.
- [11] Williamson G B, Obee E M, Weidenhamer J D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14(1): 181-187.
- [12] Zhang J S, Guo J F, Chen G S, Qian W. Soil microbial biomass and its controls. *Journal of Forestry Research*, 2005, 16 (4): 327-330.
- [13] Wang R H, Zhou B L, Zhang Q F, Fu Y W. Effect of eggplants/tomato grafting on disease resistance and yield. *China Vegetable*, 2003, (4): 10-11.
- [14] Maher E A, Bate N J, Ni W, Elkind Y, Dixon R A, Lamb C J. Increased disease susceptibility of transgenic tobacco plants with suppressed levels of preformed phenylpropanoid products. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 1994, 91(16): 7802-7806.
- [15] Grayer R J, Harborne J B. A survey of antifungal compounds from higher plants. *Phytochemistry*, 1994, 37: 19-42.
- [16] Macias F A. Allelopathy in search for natural herbicide model. *ACS Symposium Series*, 1995, 582: 310-329.
- [17] He H B, Chen X X, Lin R Y, Lin W X. Chemical components of root exudates from allelopathic rice accession PI312777 seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 2383-2388.
- [18] Yan X F, Wang Y, Li Y M. Plant secondary metabolism and its response to environment. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2554-2562.
- [19] Keire D A, Anton P, Faull K F, Ruth E, Walsh J H, Chew P, Quisimoro D, Territo M, Reeve J R. Diethyl phthalate, a chemotactic factor secreted by *Helicobacter pylori*. *Journal of Biological Chemistry*, 2001, 276: 48847-48853.
- [20] Tran D X, Min C, Tran D K, Shinkichi T. Identification of phytotoxic substances from early growth of barnyard grass (*Echinochloa crusgalli*) root exudates. *Journal of Chemical Ecology*, 2006, 32: 895-906.
- [21] Yang R J, Niu J Y. Effect of phosphorus deficiency on root exudation of rape (*Brassica campestris* L.). *Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science*, 2006, 28 (6): 895-899.
- [22] Chai Q, Feng F X. Identification of root exudation of *Zea mays* L. and allelopathy of 1,2-benzenedicarboxylic acid. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2007, 42 (5): 43-48.
- [23] Han L M, Wang S Q, Ju H Y, Yan F. GC-MS analysis on the kinds of soybean root exudates extracted with adsorption resin. *Soybean Science*, 2003, 22 (4): 301-305.
- [24] Hou Y X, Zhou B L, Wu X L, Fu Y W. Allelopathy of root exudates of pepper. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2007, 38(4): 504-507.

参考文献:

- [1] 张晓玲, 潘振刚, 周晓峰, 倪吾钟. 自毒作用与连作障碍. *土壤通报*, 2007, 38(4): 781-784.
- [5] 李明, 曾任森, 骆世明. 次生代谢产物在植物抵抗病虫害为害中的作用. *中国生物防治*, 2007, 23 (3): 269-273.
- [7] 周宝利, 林桂荣, 付亚文, 李振洲. 嫁接茄子防病增产效果初步研究. *辽宁农业科学*, 1997, (1): 53-56.
- [8] 周宝利, 王茹华. 主要蔬菜异属间嫁接研究进展. *长江蔬菜*, 2002, 学术专刊: 16-17.
- [9] 尹玉玲, 周宝利, 李云鹏, 付亚文. 嫁接对茄子根际土壤微生物种群的化感效应. *园艺学报*, 2008, 35 (8): 1131-1136.
- [10] 曾任森, 苏娟娟, 叶茂, 谢丽君, 宋圆圆. 植物的诱导抗性及其生化机理. *华南农业大学学报*, 2008, 29(2): 1-6.
- [13] 王茹华, 周宝利, 张启发, 付亚文. 茄子/番茄嫁接抗病增产效果初报. *中国蔬菜*, 2003, (4): 10-11.
- [17] 何海斌, 陈祥旭, 林瑞余, 林文雄. 化感水稻 PI312777 苗期根系分泌物中化学成分分析. *应用生态学报*, 2005, 16(12): 2383-2388.
- [18] 阎秀峰, 王洋, 李一蒙. 植物次生代谢及其与环境的关系. *生态学报*, 2007, 27(6): 2554-2562.
- [21] 杨瑞吉, 牛俊义. 磷胁迫对油菜根系分泌物的影响. *西南农业大学学报(自然科学版)*, 2006, 28 (6): 895-899.
- [22] 柴强, 冯福学. 玉米根系分泌物的分离鉴定及典型分泌物的化感效应. *甘肃农业大学学报*, 2007, 42 (5): 43-48.
- [23] 韩丽梅, 王树起, 鞠会艳, 阎飞. 吸附树脂提取的大豆根系分泌物种类的 GC-MS 分析. *大豆科学*, 2003, 22 (4): 301-305.
- [24] 侯永侠, 周宝利, 吴晓玲, 付亚文. 辣椒根系分泌物化感作用的研究. *沈阳农业大学学报*, 2007, 38(4): 504-507.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huajun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

2009 年度生物学科总被引频次和影响力因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响力因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响力因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 2011

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:100717	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		

